THÈSE

Pour obtenir le grade de

Docteur

Délivré par **l'Université Paul Valery – Montpellier III**

Préparée au sein de l'école doctorale 60

« Territoire, Temps, Sociétés, Développement »

Et de l'unité de recherche EA 4556 « Laboratoire Epsylon »

Spécialité : **Psychologie Cognitive**

Présentée par **Satya Lancel**

« To afford or not to afford in emergency situation »

ou

Comment modifier l'environnement pour qu'une issue devienne de secours

Soutenue le 18 Novembre 2022 devant le jury composé de

M. François OSIURAK, PU, Université de Lyon	Rapporteur
M. Thibaut BROUILLET, PU, Université Paris-Nanterre	Rapporteur
Mme Anne LAURENT, PU, Université Montpellier	Examinateur
Mme Arielle SYSSAU, PU, Université Montpellier III	Présidente du jury
Mme Sophie MARTIN, MCF HDR, Université de Montpellier III	Directrice
M. Gérard DRAY, PU HDR, IMT Mines Alès	Co-directeur

« To afford or not to afford in emergency situation »

ou

Comment modifier l'environnement pour qu'une issue devienne de secours

Présentée par Satya Lancel

Sous la direction de Sophie MARTIN et Gerard DRAY

« Sur ma planète, celui qui demande de l'aide, c'est celui qui est fort ».

Superman

A tous les Super-héros

Remerciements

Rédiger une thèse, c'est s'engager dans une aventure humaine.

Rétrospectivement, je peux affirmer que les rencontres, les relations et les échanges ont été déterminants pour l'aboutissement de ce travail de thèse. Aujourd'hui, je garde en mémoire toutes les marques de bienveillance et les démarches expertes qui m'ont aidé à structurer, enrichir et faire aboutir mes recherches. Et je tiens donc ici à remercier tous les Super-Héros qui ont cru en mon histoire au point d'y investir leurs meilleurs pouvoirs.

A commencer par Sophie Martin et Gérard Dray, mes Super-Directeurs de thèse, qui ont partagé avec moi le pouvoir de la précision et du sens. Présents à la source du projet, ils m'ont permis de maintenir le cap chaque fois qu'une perspective venait à manquer. Ils m'ont tous deux offert d'avancer avec rigueur sans jamais perdre le fil de la créativité et de l'enthousiasme.

Je remercie Dominique Schelcher, Ingrid Crambes Tisserand et Sylvie Amailland de la Coopérative U Enseigne. Super-Entreprise qui m'a généreusement ouvert les portes de ses territoires et qui a incité nombre de ses acteurs et équipes techniques à se mobiliser pour le projet. A leur tête, c'est à Nicolas Bringer, Super-allié sur le terrain des expérimentations, que j'adresse toute ma gratitude pour son pouvoir d'avoir concrétisé mes recherches.

Parmi les Super-Etudiants de l'IMT Mines Alès : Julien Pruvost, Pauline Boivin et Mouna El Alaoui, j'ai une pensée particulière pour le Super-Professeur Vincent Chapurlat qui a investi toute son ingéniosité et son indéfectible pugnacité dans ce travail.

Je ne veux pas oublier la Super-Equipe des doctorants et des jeunes docteurs : Clarisse Madiouni, Justine Walter, Chloé Galli, Jérôme Clus, Draushika Mooruth, Conchita Glorieux, Christine Sanchez et Lorene Causse qui ont été d'inestimables ressources tout au long du parcours.

Bien entendu, mes Super-Remerciements vont à François Osiurak, Thibault Brouillet, Anne Laurent, Arielle Syssau, Sandra Bringay, Lionel Brunel qui ont accepté d'intégrer l'aventure afin de mettre en débat les résultats de mes recherches.

Et enfin, c'est à ma famille que je veux adresser un signe, et particulièrement à Pablo, Elena, Hugo, Marianna, Léonardo, Faustine et Hervé. Super-Aventuriers du quotidien et grands amateurs de Marvel, ils ont fait preuve d'une héroïque patience à mes côtés. A eux, je leur transmets encore et toujours l'entièreté de mon amour. Le plus grand des pouvoirs.

Résumé

Dans une approche incarnée et située de la cognition, notre travail de thèse a consisté à appréhender la prise de décision de l'individu en situation d'évacuation d'urgence comme la conséquence d'une modification fonctionnelle du mode d'interaction entre le sujet et son environnement. Dans ce contexte, nous avons réalisé une série d'expériences afin d'appréhender et de comprendre les liens entre la cognition et la dynamique complexe des capacités humaines dans un environnement changeant. En nous adossant à la théorie des affordances (Gibson, 1979; Hartson, 1999; Norman, 2003), nous avons exploré les liens entre les affordances cognitives, sensorielles, physiques et fonctionnelles dans une série d'expériences comportementales, des expériences de simulations informatiques et des études observationnelles en situation d'évacuation d'urgence dans l'environnement spécifique du supermarché. En outre, nous avons pu mettre en évidence que la modification de l'environnement serait susceptible d'augmenter les capacités cognitives qui facilitent l'action et que la prise de décision de l'individu en situation d'urgence pourrait bénéficier des ressources intégrées dans l'environnement. De plus, les données issues des simulations informatiques vont dans le sens d'une modélisation possible de l'influence des affordances sur le comportement d'évacuation dans un environnement complexe. Enfin, en nous appuyant sur les analyses des résultats obtenus, nous proposons des recommandations relatives à la signalisation des issues de secours et des perspectives pour les futures recherches sur la simulation d'attaques terroristes en supermarché.

Mots clefs: Comportement humain en situation d'urgence, Cognition, Affordances, Simulation, Sécurité des personnes, Supermarché

Abstract

In an embodied and situated approach to cognition, our doctoral thesis focused on investigating the decision-making of individuals in an emergency evacuation situation as a result of a functional modification of the mode of interaction between the subject and their environment. In this context, we conducted a series of experiments to help explain the links between cognition and the complex dynamics of human capacities in a changing environment. Based on affordance theory (Gibson, 1979; Hartson, 1999; Norman, 2003), we explored the links between cognitive, sensory, physical and functional affordances in a series of behavioural experiments, computer simulations and observational studies of an emergency evacuation situation in the specific environment of the supermarket. We were also able to show that environmental modification could increase cognitive abilities that facilitate action and that the individual's decision-making in an emergency situation could benefit from the resources embedded in the environment. Moreover, data from computer simulations support a possible modelling of the influence of affordances on evacuation behaviour in a complex environment. Finally, based on the analysis of the results, we propose recommendations for emergency exit signs and insights for future research based on the simulation of terrorist attacks in supermarkets.

Key words: Human behavior in emergency situations, Cognition, Affordances, Simulation, Personal Safety, Supermarket

Table des matières

Préambule 5
Organisation du travail de thèse 11
Chapitre 1. Partie théorique 13
I. Introduction 14
1.1. Affordance(s) 14
1.1.1. Définition du concept d'affordance 15
1.1.2. Le concept d'affordance appliqué aux objets du quotidien 17
1.1.3. Quel modèle pour guider le design d'un dispositif efficace ? 22
1.2. Mise en évidence expérimentale des affordances 22
1.2.1. Les affordances sensorielles, cognitives, physiques et fonctionnelles (Hartson, 2003) 23
1.2.2. Des éléments d'application dans les situations d'urgence 27
1.2.3. Des éléments d'application dans les supermarchés 28
1.2.4. Un dispositif dynamique et éprouvé dans le cas des situations incendie (Nilsson, 2009) 32
II. Proposition d'un dispositif 34
III. Problématiques et hypothèses 39
Chapitre 2. Etudes comportementales 42
2.1. Expérience *du Pain de mie* 43
2.1.1. Participants 43
2.1.2. Matériel et méthode 44
2.1.3. Procédure 48
2.1.4. Résultats 48
2.1.5. Conclusion 54
2.2. Expérience *des Fruits et légumes* 55
2.2.1. Participants 55
2.2.2. Matériel et méthode 56
2.1.3. Procédure 58
2.1.4. Résultats 58
2.1.5. Conclusion 60

2.3. Expérience *des Fruits et légumes modifiée* 61
2.3.1. Participants 61
2.3.2. Matériel et méthode 61
2.3.3. Procédure 62
2.3.4. Résultats 62
2.3.5. Conclusion 64
2.4. Expérience *de la truite* 65
2.4.1. Participants 65
2.4.2. Matériel et méthode 66
2.4.3. Procédure 67
2.4.4. Résultats 67
2.4.5. Conclusion 69
2.5. Discussion des expériences comportementales 69
Chapitre 3. Simulations informatiques 74
Glossaire 76
3. Introduction 78
3.1. La nouvelle conception de la théorie de la rationalité 79
3.2. La simulation informatique du comportement humain 80
3.3. La modélisation du comportement humain en situation d'urgence 81
3.4. Modélisation et simulation des expériences : vers une possible virtualisation réutilisable et paramétrable au moyen d'un Système Multi-Agents 83
4. Méthode 85
4.1. Mise en œuvre 89
4.2. Modélisation de l'environnement i.e., du supermarché 90
4.3. Modélisation des caractéristiques et du comportement probabiliste des personnes selon qu'elles sont des clients, des membres du personnel ou des terroristes. 91
4.4. Paramétrage de la simulation 93
5. Simulations et résultats 96
5.1. Procédure de lancement d'une simulation 96
5.2. Les résultats 100
6. Conclusion 103
7. Discussion des expériences de simulations 107
Chapitre 4. Discussion 109

Bibliographie 118
Liste des tableaux et des figures 144
Annexes… 148
Annexe A : Émergence de la solution de type design thinking 149
Annexe B : Matériel et méthode de l'expérience *du Pain de mie* 156
Annexe C : Les résultats de l'expérience *du Pain de mie* 160
Annexe D : Matériel et méthode de l'expérience *des Fruits et légumes* 170
Annexe E : Les résultats de l'expérience *des Fruits et légumes* 176
Annexe F : Les résultats de l'expérience *des Fruits et légumes modifiée* 181
Annexe G : Comparaison des résultats des expériences *des Fruits et légumes* et *des Fruits et légumes modifiée* 186
Annexe H : Modification du visuel de l'issue de secours « Truite » 190
Annexe I : Les résultats de l'expérience *de la truite* 196
Annexe J : Observation d'exercices d'évacuation d'urgence en supermarché 202
Annexe K : Observations exploratoires du comportement de l'individu en situation d'ouverture d'une issue de secours : Sésame ouvre-toi ! 208
Annexe L : Grille d'observation d'un exercice d'évacuation d'urgence dans un supermarché 217
Communications 218
Publications 223

Préambule

Imaginez que vous êtes en train de faire vos courses. Vous avez à nouveau oublié la liste que vous aviez rapidement écrite au coin d'une feuille, elle-même posée au coin d'une table. Le caddie que vous avez choisi est à nouveau celui dont la roue se bloque et vous empêche de manœuvrer librement (c'est toujours à vous que ça arrive). De quoi avez-vous besoin ? Qu'est-ce qu'il manquait déjà ? Sachant que vos enfants ont des goûts particuliers, tous différents; que vous ne pouvez payer qu'en carte et que vous avez cette réunion qui occupe tout votre espace mental depuis plusieurs jours : ai-je bien envoyé le mail de rappel ? C'était quoi l'ordre du jour au final ? Il y a un bruit environnant intense, de la musique, des gens qui parlent fort, des enfants qui courent entre les rayons et qui heurtent votre caddie, et cette animatrice qui veut absolument vous faire goûter le dernier saucisson aux épices dont vous ignoriez même l'existence (et qui vous oblige à développer une stratégie d'évitement de son rayon). Définitivement, vous auriez dû venir entre midi et deux, ou faire vos courses en ligne. La vie quotidienne nous offre tout un ensemble de situations mettant à mal notre charge mentale. Cette vie quotidienne met à l'épreuve de manière continue notre capacité d'adaptation et nous pousse à prendre de manière permanente tout un ensemble de décisions aussi rapides qu'inaperçues sur le plan de la conscience. Si rapidement que c'est en réalité souvent la décision qui nous prend de manière automatique, plus que nous ne prenons des décisions volontairement. Ces décisions s'enchainent, se mélangent, s'influencent. Elles sont plus rationnalisantes que rationnelles même si tout un chacun conserve l'illusion que nous sommes des êtres logiques. Soudain, alors que vous tentez de choisir une boite de petits pois au milieu de 15 opportunités commerciales, un bruit se détache. Une personne court au loin. Puis un autre bruit, un cri peut-être ? Suis-je concerné(e) ? Que se passe-t-il ? Que dois-je faire ? La cacophonie émotionnelle, auditive, visuelle, olfactive est si soudaine et extrême qu'elle vous fige un instant, venant heurter l'automatisme de votre être si fortement ancré dans votre corps. Ce corps qui vous invite à partir, vite, très vite, mais par-là d'où vous venez.

Cette situation, décrite avec simplicité dans ce texte, pourrait être une réalité vécue concrètement et dramatiquement dans le supermarché de Buffalo en 2022 (État de New York) ou d'Auckland en 2021 (Nouvelle-Zélande). Des attentats terroristes qui ont causé la mort de seize personnes et ont fait plus d'une centaine de victimes. Plus proche de nous, la série des attentats de Trèbes et de Carcassonne en 2018 a marqué tragiquement notre actualité. Et, l'attentat du Super U de Trèbes est loin d'être un fait isolé.

L'évolution du terrorisme en France

Historiquement, il existe un lien particulièrement tragique entre la France et le terrorisme. Recouvrant une diversité de formes et différentes gradations dans la violence. Déjà à la fin du XVIIIe siècle, l'origine du mot terrorisme apparait dans les dictionnaires pour designer la politique de Robespierre pendant la Révolution française (Raflik, 2017). Même s'il est admis que les racines de la Terreur et du terrorisme s'entremêlent dans la peur, il est important de rappeler que « la Terreur désigne un moyen de gouvernement de l'état et que le terrorisme est une situation contraire où la terreur est l'instrument de la dislocation de l'état » (Martin, 2005, pp. 176-177). Ainsi, le terrorisme désigne les violences tournées contre l'État. Cependant, le terrorisme fait partie de ces notions qui font l'objet de définitions controversées. Dans ce travail, nous entendrons la notion terrorisme comme « l'utilisation réelle de la force et de la violence illégale par un acteur non étatique pour atteindre un objectif politique, économique, religieux ou social par la peur, la coercition ou l'intimidation » (Global Terrorism Database, 2017). Selon cette définition, la nature de l'acte terroriste requiert les caractéristiques suivantes : une nature intentionnelle et consciente de son auteur, un certain niveau de violence physique ou matérielle, ou une menace de violence imminente et enfin, la condition que les auteurs soient des acteurs non étatiques.

L'histoire de notre pays est marquée depuis le XIXe siècle par des actes terroristes de nature extrêmement variés, et « subis systématiquement toutes les vagues de terrorisme international » (Raflik, 2017).

Ces dernières années, l'Europe occidentale a connu la survenance continue d'attaques terroristes, environ 20 par mois en moyenne (Global Terrorism Database, 2017, p. 7). En 2015, 2016 et 2017, de multiples événements ont eu lieu dans des pays d'Europe occidentale, au cours desquels des assaillants ont tué plus de cinq personnes, notamment des attaques faisant de nombreuses victimes menées par des terroristes à Paris, Bruxelles, Nice, Berlin, Manchester, Londres et Barcelone (Global Terrorism Database, 2017, p. 7). La France est le pays le plus touché de l'Union européenne avec 82 attentats à motivation religieuse commis sur son sol entre 1979 et mai 2021 (Reynié, 2021). Ainsi, le développement du terrorisme devient un défi majeur pour la France contemporaine (Raflik, 2017).

En 2018, neuf attaques terroristes meurtrières ont eu lieu en Europe occidentale. Ces attentats ont fait 330 morts. Plus particulièrement, deux attentats meurtriers ont marqué la France en 2018. Dans le Sud de la France, un terroriste a tué trois personnes dans un supermarché. Et à Strasbourg, un terroriste a attaqué des civils sur un marché de Noël, tuant cinq personnes et en blessant onze autres.

La sécurité n'est plus le monopole de l'état

Face à l'évolution du terrorisme, les gouvernements européens ont été contraints de prendre en considération la question de la sécurité et de la placer au premier plan des préoccupations. Si les résultats des études récentes sur les chiffres du terrorisme nous intéressent, c'est que ces travaux font apparaitre la nécessité de l'évolution des questions de sécurité dans les lieux accueillant du public (Reynié, 2021; Bovina, 2020). Dans ce contexte, on peut dire que la sécurité n'est plus le monopole de l'État.

Plus particulièrement, les relations entre les polices étatiques et la sécurité privée s'intègrent dans une logique de complémentarité et sont appelées à se développer en particulier pour la sécurisation des sites d'importance vitale pour la population comme les sites de santé, les transports ou encore les commerces alimentaires (Latour, 2009). En effet, certains secteurs privés, comme les centres commerciaux, intègrent des missions de sécurité et, ainsi, révèlent la place du secteur privé dans la politique moderne de sécurité (Latour, 2018, 2021). En ce sens, la présence de la sécurité privée dans la grande distribution permet aux centres commerciaux de lutter contre le vol, les cambriolages, les incivilités et aussi d'assurer la sécurité dans le quotidien des citoyens. Dans d'autres pays comme en Espagne, la sécurité privée participe aux côtés de la sécurité publique à la lutte contre les délinquants ou les terroristes en communiquant des informations et en concourant à leur arrestation (Arroyo, 2012).

À tire d'exemple, la série d'attaques la plus meurtrière de l'histoire du terrorisme du 11 septembre 2001 va contribuer à faire évoluer la sécurité collective dans le monde occidental et la nécessité d'une coopération internationale. La loi 2001-1062 du 15 novembre 2001 sur la sécurité quotidienne va renforcer les pouvoirs des agents privés de sécurité dans les zones aéroportuaires et dans les Établissements recevant du public (ERP) des zones sensibles, puis par la loi 203-239 du 18 mars 2003 étendre les pouvoirs aux zones de manifestations sportives, récréatives et culturelles.

En continuité, les attentats de Paris de 2015, Nice en 2016, Trèbes et Strasbourg en 2018 montrent : d'une part, la nécessité pour l'État d'une réorganisation en matière de sécurité par le partenariat avec le secteur de la sécurité privée pour sécuriser les lieux de points sensibles; et d'autre part, la nécessité pour les gestionnaires de sites recevant du public de s'intégrer dans un partenariat de sécurité. Malgré tout, ces dispositions n'empêcheront pas de nouvelles attaques dans des lieux privés et publics et notamment dans les supermarchés.

Fortement éprouvée par l'inscription du Super U de Trèbes dans les attentats meurtriers perpétrés en France depuis 2015, la coopérative U Enseigne a décidé de s'emparer du sujet pour aider à optimiser les procédures en place et améliorer la sécurité de l'ensemble des travailleurs et des usagers des centres commerciaux dans le cadre de la prévention du risque attentat.

Le point de départ de ce travail de thèse CIFRE n'est qu'aucun des 87 clients et personnels n'a emprunté les issues de secours lors de l'attaque du Super U en mars 2018. La question posée par l'enseigne était : comment augmenter la probabilité d'utilisation des issues de secours, sachant que toutes les conditions légales ont déjà été mises en œuvre (i.e., nombre et signalisations des issues de secours) ? C'est dans ce contexte qu'a émergé un va et vient mutuellement nourrissant entre acteurs de terrain et science. En quoi la science dispose-t-elle de connaissances pertinentes pour apporter des éléments de réponses hypothétiques, falsifiables et reproductibles ? En quoi le terrain peut-il remettre en question les connaissances scientifiques et les enrichir ?

Ce travail de thèse se propose d'apporter une contribution originale dans le domaine de l'étude des problèmes relatifs à l'évacuation. L'intérêt d'aborder la question relative à la sécurité des personnes sous un angle interdisciplinaire tient au fait que les mesures d'évacuation des personnes doivent être fondées sur la connaissance des lois psychologiques qui sous-tendent la prise de décision des individus en situation d'évacuation. Pour atteindre cet objectif, l'accent est mis sur la recherche et la mise en pratique d'une solution permettant d'améliorer l'évacuation des individus et ensuite par la proposition de modélisation de la solution permettant de simuler l'évacuation d'une population à haute densité dans un environnement à géométrie complexe (e.g., supermarché) pouvant comporter des obstacles à la circulation. Ceci définit la nouveauté de ce travail de thèse.

Organisation du travail de thèse

Cette thèse est organisée en trois parties principales : la première théorique, la seconde expérimentale, pour aboutir sur une troisième et dernière partie de discussion et de conclusion qui nous permettra de mettre en perspective les résultats obtenus.

Après avoir défini la notion d'affordance et présenté les différentes approches des affordances, nous aborderons un ensemble d'expériences comportementales mettant à l'épreuve l'hypothèse que les prises de décisions sont pour partie le fruit d'une modification fonctionnelle du mode d'interaction entre le sujet et son environnement (Versace et al., 2018; Gibson, 1979). Après cette brève partie dont l'objectif est de positionner notre conception des interactions entre l'individu et son environnement; nous exposerons alors les connaissances fondamentales issues des sciences de la psychologie auxquelles nous avons eu recours de manière inductive pour formuler des hypothèses de réponses à la question posée par l'enseigne U : quel dispositif développer pour augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ses pas ?

Le chapitre expérimental est organisé en deux parties, les expériences comportementales et les expériences de simulations informatiques. La première partie expérimentale consistera à la présentation de 4 études comportementales dont l'objectif était de mettre à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle modifier les affordances environnementales (sensorielles, cognitives) modifie en retour la prise de décision des participants (i.e., choix de sortie).

La deuxième partie expérimentale est consacrée aux expériences de simulations informatiques et aura pour objet de modéliser, développer et visualiser les mouvements individuels des clients et des personnels lors d'une évacuation d'urgence dans un supermarché. Dans un premier temps, nous expliciterons notre approche de modélisation et de simulation issue de l'intelligence artificielle basée sur les systèmes multi-agents (SMA) et son apport pour la compréhension des comportements, notamment ceux des individus en situation d'urgence

dans l'environnement spécifique du supermarché. Enfin, nous présenterons une série d'expérimentations de simulations afin de mettre à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle les affordances entre le sujet et son environnement modifient ses possibilités d'actions. La nécessité d'avoir recours à la simulation informatique vient de la nature même de notre sujet de recherche et des limitations expérimentales et éthiques qu'il impose.

CHAPITRE 1

Partie théorique

I. Introduction

Projetez-vous mentalement dans votre supermarché habituel. Vous y êtes ? Pouvez-vous dire combien il y a d'issues de secours ? Où sont-elles ? Pourtant vous venez régulièrement dans ce magasin… Ce n'est pas parce qu'une issue est dite de secours que fonctionnellement elle l'est. La sémantique ne suffit pas à la fonctionnalité. Comment une porte devient-elle « de secours » ? Comment une pierre devient-elle un marteau, ou encore comment une chaise peut-elle devenir un escabeau (périlleux, certes !). Dans ce chapitre, nous allons essayer de répondre à ces questions si simples, et si complexes. Après avoir défini la notion d'affordance et présenté les différentes approches des affordances, nous aborderons un ensemble d'études comportementales sous-tendues par le postulat que les prises de décision d'un individu sont la conséquence d'une modification fonctionnelle du mode d'interaction entre le sujet et son environnement (Versace et al., 2018; Gibson, 1977). Ainsi, nous défendons l'idée que l'environnement n'intervient pas seulement comme une contrainte, mais qu'il fournit également des ressources cognitives qui facilitent l'action (Hartson, 2003; Laville, 2000).

1.1. Affordance(s)

Le concept d'affordance que nous présentons et examinons dans ce chapitre occupe une place centrale en psychologie. Comme cela est largement reconnu, le terme a été proposé par Gibson (1979) selon qui « les affordances de l'environnement sont ce qu'il offre à l'animal, ce qu'il lui fournit ou lui procure, en bien ou en mal » (Gibson, 1977, p. 127). En transformant le verbe « to afford » (qui peut se traduire par offrir, permettre, fournir) en substantif, Gibson (1977) a cherché à rendre compte de la faculté de l'homme, et de l'animal en général, à guider ses comportements en percevant ce que l'environnement offre en termes d'opportunités d'actions (Luyat, 2009; Morice et al., 2015; Scarlett, 2019).

Pour Gibson (1977), la perception de l'environnement est le principal moyen par lequel l'humain (et l'animal) donne sens à son environnement et s'y intègre. En s'inspirant des travaux de ce dernier, de nombreux chercheurs ont popularisé le concept d'affordance dans de nombreuses disciplines scientifiques connexes à la psychologie, notamment, la psychologie sociale (Ghliss, 2018), les sciences cognitives (Proctor, 2019), les neurosciences (Frederico, 2019; Luyat, 2019), la robotique (Hassanin, 2022), les sciences de la sécurité (Nilsson, 2009; Gwynne, 2020), la modélisation informatique (Filippidis, 2021; Joo, 2013; Hassanpour, 2021), la conception dans le design (Carattin, 2011, 2015; Hartson, 2003), ou encore l'interaction homme-machine (Norman, 1999). Après un bref rappel des principes fondateurs et une définition du concept d'affordance, nous aborderons les évolutions récentes au travers des travaux majeurs de la littérature qui concernent notre problématique.

1.1.1. Définition du concept d'affordance

Gibson a proposé le concept d'affordance dans son ouvrage The Senses Considered as Perceptual Systems (1966), qu'il a affiné et développé dans Affordances and Behaviour (1975), pour finalement l'enrichir dans The Ecological Approach to Visual Perception (1979). Pour citer Scarlett (2019, p. 8), Gibson s'est concentré sur les interactions agents vivants - environnements et a utilisé le concept d'affordance « pour explorer les propriétés utiles des environnements et, par extension, des objets physiques ». En ce sens, les affordances ne constituent pas les propriétés de l'environnement; elles correspondent aux possibilités d'action offertes aux individus par l'environnement en fonction des capacités d'action des individus (Martin et al., 2017, p. 658; Osiurak et al., 2017; Da Silva et al., 2021; Versace et al., 2018). Dit simplement, une chaise invite à s'asseoir, une poignée demande à être saisie, une porte à être ouverte.

> *« Les invites de l'environnement sont ce qu'il offre à l'animal, ce qu'il fournit ou apporte, que ce soit bon ou mauvais. Le verbe permettre se trouve dans le dictionnaire, mais le nom affordance n'y est pas. Je l'ai construit. Je désigne par ce nom quelque chose qui réfère à la fois à l'environnement et à l'animal, dans un sens qu'aucun terme existant ne désigne. Ce dernier implique la complémentarité de l'animal et de l'environnement. » (J. J. Gibson, 1986, p. 127/Trad. Putois p. 211)*

Autrement dit, nous ne percevons pas des chaises ou des portes, mais nous sommes invités à nous asseoir ou à entrer dans un endroit.

Selon la théorie gibsonienne, la relation entre la perception qu'un être humain se fait de son environnement et des mouvements dans son environnement génère des possibilités d'interaction environnement-individu primordiales dans le choix des actions en situation (Luyat, 2009; Gibson, 1979). Pour se déplacer, se repérer rapidement et même survivre, la perception de l'environnement joue ainsi un rôle central en tant que pourvoyeur de signaux d'alerte, mais aussi d'identification d'orientation vers les zones sûres (Basilio, 2015; Dutriaux, 2016; Gibson, 1979). Ces signaux offerts (affordés) sont d'autant plus essentiels à la survie que l'individu se trouve en situation de prise de décision urgente et que son intégrité est en jeu. En comprenant le terme *perception* au sens étymologique de « *percipere* » (se saisir de), alors percevoir n'est donc pas simplement voir, mais avant tout capter, prendre pour soi, s'emparer de (Luyat, 2009).

Ainsi, l'individu ne perçoit pas les propriétés des objets, il construit les possibilités d'action qu'offrent les objets (Versace et al., 2018; Gibson, 1977). En défendant une conception située de la perception, Gibson (1977) attribue au système visuel la fonction d'identifier les aspects pertinents de l'environnement pour l'action.

« Une invite passe outre la dichotomie entre le subjectif et l'objectif et nous aide à saisir son caractère inadéquat. Elle est autant un fait de l'environnement qu'un fait de comportement, elle est à la fois physique et psychique, et cependant ni l'un ni l'autre. Une invite fait signe dans les deux directions, vers l'environnement et vers l'observateur. » (J. J. Gibson, 1986, p. 129/Trad. Putois p. 214).

La conception originale de l'affordance est résolument environnementale : d'une part, une affordance ne peut exister indépendamment de l'environnement qu'elle soit reconnue ou non par l'agent. D'autre part, un seul et même objet (ou environnement) peut permettre l'émergence de différentes affordances, chacune spécifique au contexte dans lequel est utilisé l'objet. Par exemple, si vous devez serrer une vis dans votre cuisine, et que votre tournevis est dehors dans le garage; vous utiliserez plus naturellement la pointe d'un couteau, car le couteau est à portée de main, donc à portée d'action : il est ici et maintenant fonctionnellement plus adéquat, bien que sa fonction ne soit pas celle de visser selon la conception classique de la cognition. Ainsi, la nature des affordances se définit-elle dans l'action (Martin et al., 2017; Da Silva et al., 2021; Versace et al., 2018**).**

Le concept d'affordance est utilisé, comme nous l'avons évoqué, dans des champs de plus en plus nombreux. En donnant une place centrale à l'action, de nouvelles approches théoriques de la perception trouvent leur fondement dans l'approche proposée par Gibson.

1.1.2. Le concept d'affordance appliqué aux objets du quotidien

Le concept d'affordance est l'un des piliers de l'approche de la perception/action et a été popularisé dans la communauté des Interactions Homme-Machine (IHM) par l'ouvrage de Donald Norman (1986) *The Psychology of Everyday Things* (POET). Selon Norman (1986),

l'affordance devient l'aspect de la conception d'un objet qui suggère comment l'objet doit être utilisé. Les affordances sont décrites par Norman (1986) comme suit :

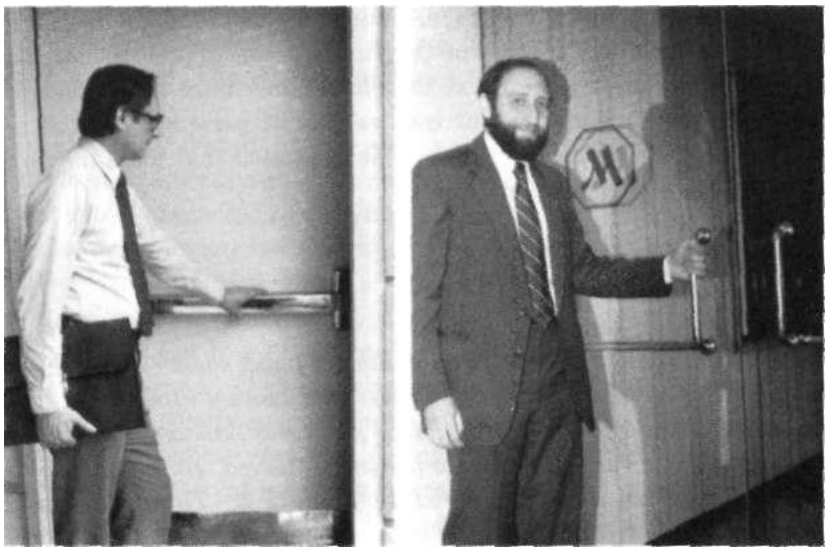
> *« Le terme « affordance » fait référence aux propriétés perçues et réelles de la chose, principalement les propriétés fondamentales qui déterminent la manière dont la chose peut être utilisée. Une chaise offre (« sert à ») un support et, par conséquent, permet de s'asseoir. Une chaise peut également être transportée. » (Norman, 1988, p. 9)*

Norman (1988) met en avant deux points essentiels : 1) les affordances sont étroitement liées aux connaissances et aux expériences passées et non indépendantes de l'expérience et de la culture d'un acteur; 2) les affordances sont les propriétés perçues et réelles des objets qui déterminent la manière dont les objets peuvent être utilisés (Norman, 1988, p. 9). Ainsi, les affordances fournissent des indices forts sur le fonctionnement des choses (Norman, 1988, p. 9, Figure 3) et suggèrent l'éventail des possibilités (Norman, 1988, p. 82). L'environnement n'est plus extérieur à la cognition, il est une invitation à l'action et donc à la construction de la connaissance. L'environnement fait partie de la cognition.

La figure 1, tirée de Norman (1988, p. 10), illustre la pensée de l'auteur. L'image de gauche illustre une affordance qui ne permet aucune autre opération que pousser la porte et l'image de droite illustre l'utilisation ambiguë générée par une barre horizontale pour pousser et une barre verticale pour tirer.

Figure 1

Illustration de deux affordances de portes selon Norman dans The Psychology of Everyday Things (emprunté de Norman, 1988, p. 10)

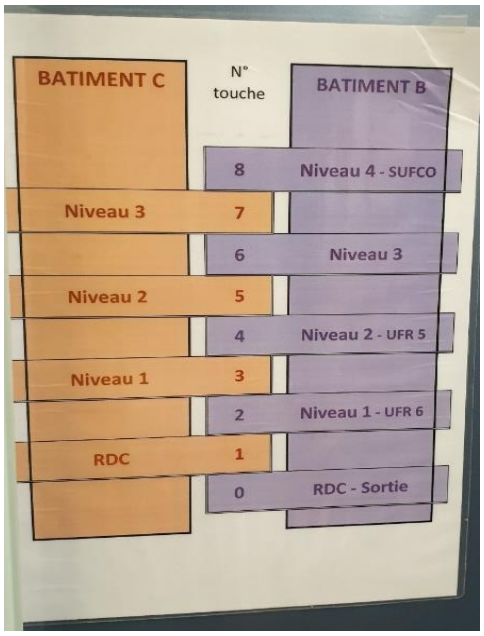


Autrement dit, la conception des produits et objets, que ce soit du quotidien ou dans le cadre de la sécurité ou de la santé, doit avoir pour ligne directrice le type d'interactions que permet le produit ou l'objet, et non le produit ou l'objet en lui-même.

Ainsi, comme l'écrivent Martin, Lancel et col. (2022) dans le champ des objets de la santé : « a technological tool should be conceived as an extended-mind device affording action opportunities to aging adults and promoting their anticipatory ability through environmental cues. » (Martin et al., 2022, p. 653). Les objets sont une extension de l'esprit, et non un remplacement de ce dernier. Intégrer la question des affordances dès la conception des objets permettrait de blâmer les objets plutôt que de blâmer systématiquement les usagers en cas de non-utilisation ou d'erreur. En réalité, l'erreur est souvent le fruit d'un mauvais design d'interaction (Norman, 2002, 2004).

Figure 2

Illustration d'un test



Faisons un test. Dites aussi vite que possible sur quel bouton il faut appuyer pour se rendre à l'UFR de psychologie de notre université ? Imaginez maintenant qu'il y a le feu ou une attaque terroriste. Non seulement les affordances possibles sont multiples et s'opposent. Mais ce design présuppose une connaissance antérieure dont ne dispose pas forcément l'utilisateur (UFR V = psychologie).

Les choses simples ne nécessitent pas d'images, d'étiquettes ou d'informations complémentaires pour l'utilisateur. Si c'était le cas, alors la conception a échoué (Norman, 1988, p. 9). C'est dans ce contexte que Norman (1988), avec autant de simplicité que de génie, s'est demandé comment une chose aussi simple qu'une porte peut-elle être aussi déroutante ? (Economidou, 2021, p. 8).

En effet, un échec signifie que les informations perceptives présentes dans l'environnement sont insuffisantes. Il serait alors nécessaire d'accéder aux informations en mémoire pour utiliser un objet (Dutriaux, 2016; Buxbaum & Kalénine, 2010). Ces recherches affirment que la notion d'affordance n'est plus définie par rapport aux informations on-line fournies par l'environnement (caractéristique intrinsèque de l'objet), mais aussi par les informations off-line telles que la connaissance de la fonction ou encore les interactions passées avec l'objet (Dutriaux, 2016; Pezzulo et al., 2010; Glenberg, 1997).

Considérons l'exemple d'une porte sans poignée, il est envisageable que sans connaissance du fonctionnement de la porte, un individu rencontrerait des difficultés à l'ouvrir. Cependant, le simple fait qu'elle puisse être ouverte suffit pour lui attribuer une affordance (McGrenere, 2000; Gibson, 1977). Toutefois, cette relation ne pourrait donner lieu à l'observation d'actions (effets d'affordances) seulement si la situation est signifiante ici et maintenant pour le sujet (Stoffregen, 2003; Niveleau, 2006). Stoffregen (2003) nous explique que si une affordance est perçue parmi d'autres possibles, c'est parce qu'elle est pertinente ici et maintenant. Ainsi le réel ne se réduit pas au possible, mais tient compte de l'utile (Stoffregen, 2003).

Reprenons l'exemple de la porte sans poignée. Selon Norman (1999), l'affordance est possible à la condition 1) de fournir à l'individu les informations spécifiques sur sa possibilité d'action et 2) que l'individu ait appris à interpréter ces informations. Dans notre cas, un élément visuel qui indique le sens de l'ouverture comme une poignée ou un texte « Tirez » augmente la probabilité d'affordance sujet-environnement. Dans cette illustration, l'affordance ne se résume plus à une vision binaire oui/non sur la possibilité d'action, mais aussi la manière dont les informations sur cette possibilité d'action sont rendues perceptibles pour l'individu (Norman, 1986).

L'affordance, telle que définie par Norman (1999) est reprise dans de nombreux travaux dans le champ de l'ergonomie comme par exemple la conception des boutons d'un appareil avec une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre pour augmenter le volume (Murrell, 1965). Par exemple, ces affordances, dites simples, sont appliquées de façon courante dans la conception des téléphones, des tablettes ou encore des ordinateurs portables. Appliquée aux IHM, une conception idéale permet « de verrouiller les affordances en place, en visant à ce qu'elles deviennent « invisibles » et « une » avec l'objet auquel elles sont attachées » (Scarlett, 2019, p. 12; Norman, 1988).

Si cette approche nous intéresse dans ce travail de thèse, c'est que les possibilités d'agir dans une situation donnée sont envisagées comme une relation pertinente pour l'action, ici et maintenant, entre certaines propriétés de l'environnement et certaines propriétés de l'individu (Mantel, 2016; Stoffregen, 2003). Le cadre théorique de l'affordance est particulièrement pertinent pour le rôle central qu'il donne à l'action. Il permet d'interroger le comportement humain non pas par la question du *quoi* mais par celle du *comment.* S'intéresser au *comment* autorise une approche dynamique de l'adaptation humaine dans laquelle les capacités cognitives, les caractéristiques environnementales et la façon dont les individus font face à leur environnement sont pris en compte comme faisant partie d'un tout aboutissant à la prise de décision (Martin et al., 2022, p. 653; Michaels & Carello, 1981; Mantel, 2016).

1.1.3. Quel modèle pour guider le design d'un dispositif efficace ?

Comme nous l'avons précédemment abordé, le comportement émerge des possibilités d'interaction entre l'individu et l'environnement. Selon la théorie de l'affordance, « comprendre le comment (et le pourquoi) un individu perçoit, décide et agit requiert de s'intéresser non pas au seul individu, mais à la relation individu-environnement comme un tout » (Mantel, 2016, p. 2; Martin et al., 2022). Dans cette deuxième partie, nous nous intéresserons particulièrement aux apports théoriques et scientifiques de l'affordance comme éléments de compréhension et de propositions de réponse à la question posée par l'enseigne U : quel dispositif développer pour augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ces pas ?

1.2. Mise en évidence expérimentale des affordances

La théorie des affordances a été utilisée dans un grand nombre de domaines différents comme la conception de l'interaction Homme-Machine (Hartson, 2003) ou encore la perception des voies d'escalade (Seifert, 2021; Boschker, 2002). Dans cette théorie, il est intéressant de

souligner que les chercheurs utilisent systématiquement une traduction des affordances par un verbe d'action suivi du suffixe « ability » qui peut se traduire par le suffixe « abileté » (Luyat, 2009). Ainsi de nombreuses affordances ont fait l'objet de travaux expérimentaux tels que la « passabilité » des ouvertures (Warren, 1987; Lucaites, 2020; Yusuda, 2014), le caractère « attrapable » des objets (Tipper, 2006; Osiurak, 2010; Cho & Proctor, 2010), la « montabilité » des escaliers (Warren, 1984; Mark, 1987; Maraj, 1999), ou encore l'« utilisabilité » d'une porte (Economidou, 2021).

Plus proche de notre problématique, la théorie des affordances a également été appliquée à la conception des issues de secours afin de comprendre pourquoi certaines conceptions sont peu, voire pas performantes (Olander, 2017; Nilsson, 2016; Carattin, 2016; Hartson, 2003).

1.2.1. Les affordances sensorielles, cognitives, physiques et fonctionnelles (Hartson, 2003)

L'évolution du concept d'affordance nous offre un cadre pragmatique, hors laboratoire, permettant de comprendre les déterminants sur lesquels agir en cas d'évacuation lors d'une situation d'urgence. En effet, Hartson (2003) soutient que l'affordance entre l'utilisateur et un objet, à savoir une issue de secours, peut être scindée et combinée entre plusieurs types d'affordances (Hartson, 2003).

Ainsi, les travaux de Hartson (2003) abordent le concept sous un angle plus complexe en divisant le concept en quatre catégories :

1. L'affordance sensorielle est « une caractéristique de conception qui aide, soutient, facilite ou permet à l'utilisateur de ressentir (i.e., voir, entendre, sentir) quelque chose » (Hartson, 2003, p. 322). A titre d'exemple simple, un panneau lumineux avec un idéogramme d'un homme qui court au-dessus d'une issue de secours joue un rôle de soutien visuel pour identifier la porte comme une issue de secours (action cognitive) et l'utiliser en cas d'urgence (action physique).

2. Une affordance physique est « une caractéristique de conception qui aide, assiste, soutient, facilite ou permet de faire physiquement quelque chose » (Hartson, 2003, p. 319). Une barre de poussée est un bon exemple souligné par Hartson (2003) qui permet aux individus d'ouvrir une porte simplement en poussant (comme une porte battante).
3. Une affordance cognitive est « une caractéristique de conception qui aide, assiste, soutient, facilite ou permet de penser et/ou de connaitre quelque chose » (Hartson, 2003, p. 319). Expliqué simplement par Hartson (2003) un texte sous un bouton pourrait permettre aux utilisateurs de comprendre la fonctionnalité du bouton et les conséquences si on clique dessus. Ou encore, appliqué à la thématique des portes, cela pourrait être un panneau avec le texte « issue de secours » permettant de comprendre la fonctionnalité de la porte et les conséquences de son ouverture (sortir en cas d'urgence).
4. Enfin, l'affordance fonctionnelle est quant à elle définie par Hartson (2003, p. 321) comme « une caractéristique de conception qui aide ou assiste l'utilisateur à faire quelque chose ». Selon Hartson (2003), l'affordance fonctionnelle est une combinaison des affordances sensorielles, cognitives et physiques (Figure 4).

Le point intéressant dans l'évolution du concept des affordances est la proposition de Hartson (2003) de réunir l'affordance cognitive et physique comme une alliance dans la conception. Par exemple, le texte « Tirer ou Pousser » associé à une poignée de porte permet aux individus de comprendre le sens d'ouverture de la porte. Selon Hartson (2003), le texte « Tirer » au-dessus d'une poignée de porte pourrait constituer une affordance cognitive en soutien à l'affordance physique en fournissant un moyen physique d'action (de tirer) ainsi qu'une indication visuelle permettant aux individus de comprendre la fonctionnalité d'ouverture. En ce sens, l'affordance physique ne signifie pas uniquement que la poignée peut

être saisie et peut être tournée, mais que l'action de saisie manuelle peut permettre à l'individu d'actionner le mécanisme d'ouverture de la porte. À son tour, la porte donne accès à une fonctionnalité de passage (affordance fonctionnelle). Dans le cas d'une porte qui a pour fonction la mise en sécurité, elle doit être suffisamment visible, être utilisable physiquement et son fonctionnement d'ouverture doit être simple.

Ainsi, la conception d'une issue de secours doit être adaptée pour que les utilisateurs puissent relier les affordances sensorielles aux affordances cognitives et physiques afin que la porte puisse être utilisée en cas d'urgence (Hartson, 2003; Figure 3; Figure 4; Figure 5).

Figure 3

Illustration d'éléments constitutifs d'une issue de secours

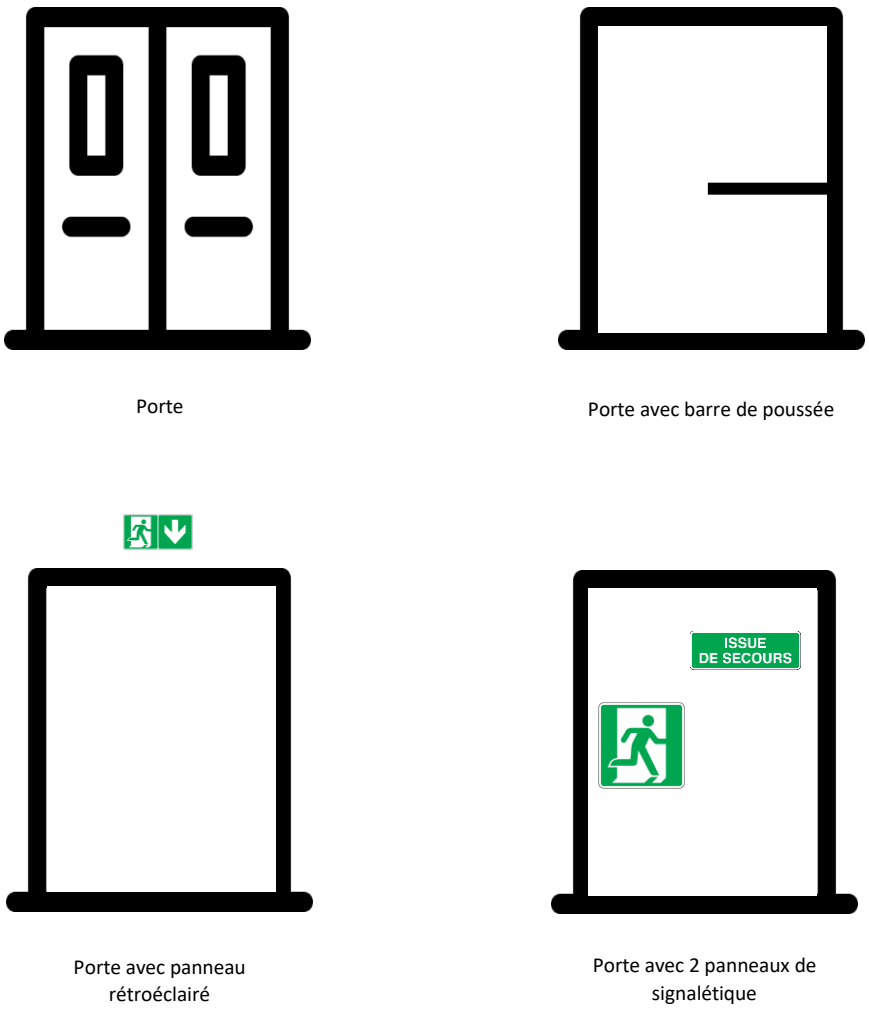
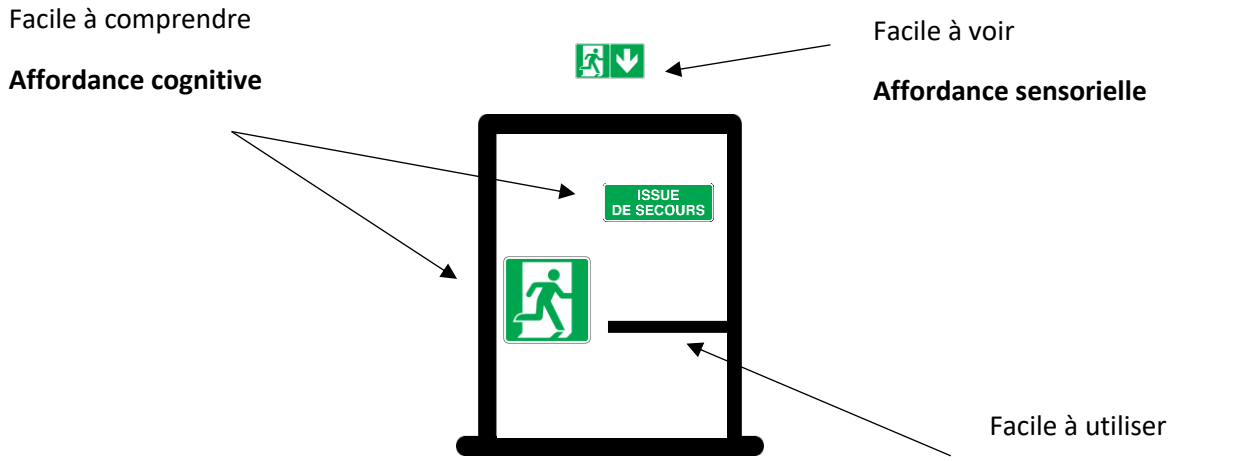


Figure 4

Illustration de l'affordance fonctionnelle d'une issue de secours. Combinaison d'affordances sensorielles, cognitives et physiques (adapté du modèle de Hartson, 2003)



Issue de secours

La figure suivante illustre de manière interactive les affordances sensorielles, cognitives, physiques et fonctionnelles avec l'application Drimify, plateforme de gamification qui permet de créer de l'interaction avec l'utilisateur (Figure 5).

Figure 5

Illustration interactive des affordances sensorielles, cognitives, physiques et fonctionnelles de Hartson (2003)

1.2.2. Des éléments d'application dans les situations d'urgence

Lors d'une situation d'urgence, évacuer efficacement sauve des vies (Liu, 2018). L'utilisation des sorties de secours est donc essentielle. Mais… en situation de danger, les décisions des individus ne sont pas le produit d'un algorithme décisionnel linéaire et rationnel (Carattin, 2011). Accrochés à leur caddie, ils n'ont pas lu, compris, ni retenu les conclusions de l'article traitant du sujet. Ils n'ont pas en tête les résultats scientifiques qui constituent pourtant des connaissances fiables permettant de faire des prédictions efficaces. En effet, les recherches pionnières sur le comportement humain en situation d'évacuation dans les bâtiments ont démontré que nous utilisons de manière préférentielle la porte par laquelle nous sommes entrés (Sime, 1985; Bryan, 1995; Proulx, 2002). Même en cas d'alerte, les individus ont tendance à ignorer des sorties de secours pour se diriger vers les sorties familières (Sime, 1985; Carattin, 2011; Frantzich, 2001; McClintock et al., 2001).

Plusieurs explications à ce comportement coexistent. La première est celle de Carattin (2011) selon qui, les occupants préfèrent se diriger vers les sorties familières et cela même en cas d'urgence, car ils ne connaissent pas l'emplacement des sorties de secours. Autrement dit, bien que plusieurs sorties de secours soient disponibles, la tendance à évacuer d'un bâtiment par une sortie familière en cas d'urgence influence le comportement d'évacuation (Sime, 1983). Ce comportement intuitif peut s'avérer mortel lorsque l'itinéraire familier est impossible (Sime, 1985; Carattin, 2011). Comme le suggérait déjà Ozel (1993), pour comprendre comment faire en sorte que les clients des supermarchés utilisent les issues de secours pour se mettre en lieu sûr plutôt que l'entrée principale, il parait important de savoir comment les individus perçoivent l'environnement (Carattin, 2011; Ozel, 1993).

Une seconde proposition d'explication, qui nous intéresse particulièrement, est celle proposée par Frantzich (2001) dans laquelle en cas d'évacuation d'urgence, les individus ont tendance à choisir un chemin familier selon la *théorie de l'affiliation* (Sime, 1985; Proulx, 1993;

Pan, 2006). Dans une série d'expériences d'évacuation dans un magasin IKEA, Frantzich (2001 a, 2001b) a découvert que les clients s'échappaient généralement par les sorties habituelles (i.e., l'entrée du magasin) et n'utilisaient que rarement les sorties de secours. Ce qui, comme le souligne justement l'auteur, peut avoir des conséquences lors d'un incendie : une évacuation plus longue en termes de temps et de distance augmenterait, par exemple, les risques d'exposition toxique à la fumée. Les conclusions des expériences suggèrent d'utiliser « des systèmes d'évacuation actifs pour inciter les individus à s'échapper par les issues de secours » (Frantzich, 2001a, 2001b; Nilsson, 2009, p. 3).

En conséquence, nous aurons recours à la théorie des affordances appliquée à la conception d'un objet pour comprendre et interpréter la manière dont la conception influence l'utilisateur dans une situation spécifique. Par exemple, comment faire pour augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ses pas ?

1.2.3. Des éléments d'application dans les supermarchés

Dans les supermarchés, nous sommes continuellement exposés à une signalétique indiquant des portes à fonction d'issues de secours que nous n'utilisons jamais. Malgré l'omniprésence de la signalisation indiquant les issues de secours, de nombreuses recherches ont montré que les individus ont tendance à ne pas les remarquer et plus encore à ne pas se souvenir de l'emplacement des sorties de secours (Carattin, 2011; Frantzich, 2001; McClintock et al., 2001). A titre d'illustration, situez-vous mentalement dans votre supermarché habituel, pouvez dire combien il y a d'issues de secours, pouvez-vous dire où se situent ces issues de secours ? Vous pouvez aussi tenter cet exercice avec votre lieu de travail, pourtant si familier. Comme le souligne Kunzer (2016), « les panneaux qui indiquent les sorties de secours perdent leur signification si cette information n'est pas utilisée activement (« learned irrelevance », McClintock, 2011). Par conséquent, les individus seraient moins susceptibles de remarquer les issues de secours ou la signalétique par *insignifiance apprise* (McClintock & al., 2001;

Weisman, 1981; Passini, 1992). Il est très intéressant de considérer que la non-signifiance est en soit une information qui s'apprend. L'individu est acteur de cet apprentissage. La question est alors de trouver l'environnement adéquat qui permettra de contourner ce processus d'insignifiance apprise.

Dans une expérience réalisée dans un magasin IKEA, les participants devaient choisir entre une sortie familière et une issue de secours (Frantzich, 2001). Les résultats montrent que, lorsque les deux issues sont équidistantes, environ 71 % des participants privilégient la porte familière par laquelle ils étaient entrés dans le magasin (Frantzich, 2001). Des résultats similaires ont été constatés dans une étude concernant un magasin Marks & Spencer : seulement 17,6 % des participants ont déclaré avoir remarqué un ou plusieurs panneaux indiquant une sortie de secours à l'intérieur du magasin (McClintock et al., 2001). Dans une autre étude, réalisée dans deux supermarchés et un grand centre commercial du nord de l'Italie, Carattin (2011) montrent que 80 % des participants étaient incapables de se souvenir de l'emplacement des sorties de secours (Carattin, 2011**)**. Une sous-utilisation des issues de secours est aussi constatée dans une étude dans 4 supermarchés impliquant 2073 clients lors d'évacuation non annoncée (Shields et al., 2000).

Ces études suggèrent que la signalétique conventionnelle des issues de secours n'est pas suffisamment efficace dans l'environnement spécifique du supermarché (Frantzich, 2001; McClintock et al., 2001; Carattin, 2011; Shields et al., 2000). Comme le souligne Carattin (2011), les supermarchés sont des environnements complexes qui ont tendance à désorienter les clients (Carattin, 2011; Norman, 2004). L'environnement saturé d'informations visuelles (i.e., rayonnage, panneaux publicitaires, lumières) du supermarché peut rendre difficile l'identification des indices pertinents pour évacuer vers les issues de secours lors d'une situation d'urgence (Shields et al., 2000).

Il semble donc que les spécificités de l'environnement complexe du supermarché soient à prendre en compte pour que le plus grand nombre des clients évacuent par les sorties de secours et non par les sorties des caisses (Shields et al., 2000; Carattin, 2011; McClintock, 2001). Dans ce contexte, la littérature nous suggère que l'efficacité de la signalétique pourrait être améliorée si sa détectabilité était améliorée (Carratin, 2016; Ronchi, 2015; Filippidis, 2021; Nilsson, 2009; McClintock, 2001**;** Galéa et al., 2014, 2017, 2016). Des recherches récentes ont montré que seulement 38 % des individus « voient » la signalisation dans une situation d'urgence dans un bâtiment non familier et cela même si le panneau de signalisation est situé juste en face (Galéa, 2014). Ces résultats suggèrent que la signalisation actuelle (i.e., signalisation passive) est peu efficace en tant qu'aide à l'orientation et à la décision (Galéa, 2014, 2016, 2017; Carattin, 2011).

Sur ce point, les travaux sur la sécurité incendie révèlent que la combinaison de signalétique conventionnelle (i.e., passive) et de la signalétique active (i.e., flèche clignotante, marquage lumineux au sol, feux clignotants) est un moyen d'influencer le choix pour compenser les longues distances à parcourir pour atteindre les sorties en cas d'urgence (McClintock et al., 2001; Nilsson, 2009; Galéa, 2014, Nilsson, 2008; Filippidis, 2006). Par exemple, l'étude de Galéa (2016) a proposé et testé une nouvelle conception de signalisation dynamique (flèche verte ou rouge clignotante dans le panneau de sortie de secours) pour résoudre le problème de sous-détection constatée de la signalisation conventionnelle. Les résultats ont suggéré que l'utilisation de panneau de sortie dynamique permettrait à un plus grand nombre d'individus d'identifier l'itinéraire de sortie correct lors d'une évacuation d'urgence en comparaison avec l'utilisation de panneau de sortie conventionnel (Galéa, 2016).

Dans une autre étude, McClintock, Shields, Reinhard-Rutland et Leslie (2001) ont démontré l'efficacité d'une conception alternative qui combine des feux clignotants (i.e., signalétique active) aux panneaux rétroéclairés au-dessus des sorties de secours (i.e.,

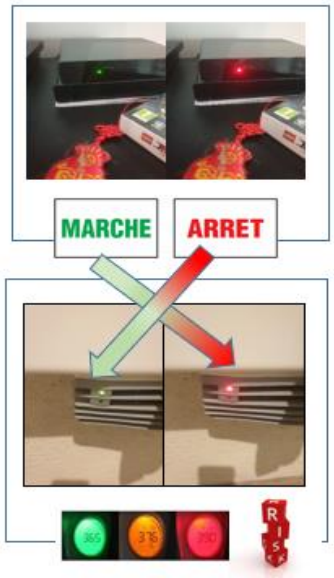
signalétique passive). Dans le cadre de l'étude, les participants ont été invités à comparer la conception alternative (i.e., feux clignotants) avec cinq autres conceptions, en utilisant une enquête par questionnaire. Les résultats ont révélé que l'utilisation de feux clignotants avait la plus grande capacité à capter l'attention et était préférée par les participants (McClintock et al., 2001).

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'efficacité de la signalisation active avec des feux clignotants semble être une piste intéressante pour augmenter le taux d'emprunts des issues de secours (McClintock et al., 2001; Galéa, 2016). Mais au-delà du clignotement, la couleur utilisée pour les feux clignotants importe aussi. En effet, les couleurs sont culturellement signifiantes (McClintock et al., 2001; Kunzer, 2020; Nilsson, 2009).

- Le VERT est associé à la notion de « sécurité » ou « aller »
- Le ROUGE est associé à la notion de « danger » ou « arrêt »
- Le JAUNE et l'ORANGE correspondraient à un avertissement
- Le BLEU serait plutôt associé aux services d'urgence

Figure 6

Illustration d'une utilisation ambiguë des signifiants couleurs peuvent induire des erreurs humaines suite à un mauvais design d'interaction



Néanmoins, nous sommes régulièrement confrontés à de très nombreuses situations de conflits entre ces signifiants couleurs. La figure 5 illustre comment une utilisation ambiguë des signifiants couleurs peuvent induire des erreurs humaines suite à un mauvais design d'interaction : dans un cas le vert signifie marche et le rouge arrêt (Box), dans l'autre le vert signifie sécurité (donc arrêt) alors que le rouge signifie danger (donc marche). Il n'est donc pas étonnant que des accidents puissent arriver non pas à cause de l'usager, mais à cause d'un mauvais design d'interaction.

De mémoire, vous rappelez-vous quelle couleur était associée au danger, laquelle avertit, laquelle renvoie à la sécurité et à aller, et laquelle concerne les services d'urgence ?

Kunzer (2020) a observé l'effet de l'affordance sensorielle des feux, selon leurs couleurs rouge ou verte, sur le choix des itinéraires dans les stations de métro auprès d'une population d'adultes et d'enfants. Les résultats ont montré que l'utilisation de feux verts a influencé les choix d'itinéraire pour les deux groupes et ont conduit 84 % des participants à choisir de suivre la direction indiquée par les feux verts. De plus, l'étude suggère que les feux verts ont incité les participants à modifier leur itinéraire : les participants ont choisi de prendre la direction de gauche au lieu de prendre le chemin habituel par les escaliers à droite (Kunzer, 2020). Ce résultat est particulièrement pertinent concernant notre problématique : la couleur verte permet non seulement d'orienter, mais aussi de modifier la décision prise quant à un itinéraire.

1.2.4. Un dispositif dynamique et éprouvé dans le cas des situations incendie (Nilsson, 2009)

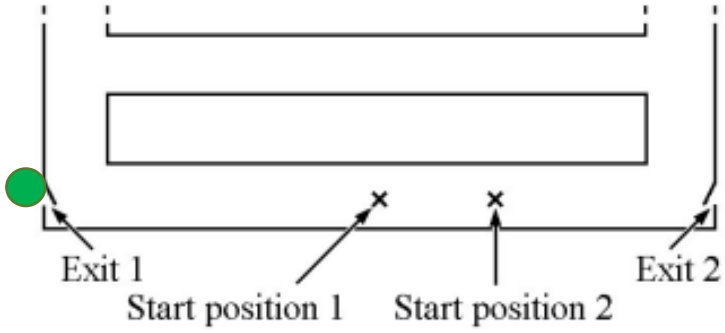
Nilsson (2009) a mis en place toute une série d'études opposant l'efficacité d'un dispositif standard d'évacuation à un dispositif dynamique (feux clignotants verts). La situation était celle d'un bâtiment, ou encore d'un tunnel routier.

Dans une des expériences, les participants étaient positionnés au centre d'un couloir. La consigne était : *Essayez d'imaginer le scénario suivant. Vous êtes seul dans un long couloir et vous savez qu'il y a un incendie dans le bâtiment, mais vous ne savez pas où. Vous voulez sortir d'ici, parce que vous voulez vous rendre dans un endroit sûr. Faites-le, s'il vous plaît.* (Traduit de Nilsson, 2009, p. 115; Figure 7).

La figure suivante illustre l'expérience de l'influence des feux clignotants dans une expérience de choix entre deux portes dans un couloir (Nilsson, 2009; Figure 7).

Figure 7

Illustration de l'expérience de l'influence des feux clignotants dans une expérience de choix entre deux portes dans un couloir (emprunté de Nilsson, 2009).



Lors de l'expérience, la sortie de gauche (exit 1) était équipée d'une signalisation avec des feux clignotants (verts ou oranges) ou des lumières stroboscopiques (i.e., signalétique active) et la sortie de droite (exit 2) était équipée d'une signalétique avec un panneau de sortie de secours rétroéclairé (i.e., passive). Les résultats ont révélé que les participants étaient significativement plus susceptibles de se diriger vers une sortie équipée de lumières clignotantes ou stroboscopiques. Concernant la condition avec la signalisation avec des feux clignotants verts, les résultats montrent que lorsque le participant est placé au milieu du couloir (start position 1), 75 % des participants empruntent la porte de gauche équipée de feux clignotants verts contre 50 % dans la condition contrôle pour laquelle rien ne clignote, soit une augmentation de 25 % (Nilsson, 2009, p. 118).

Dans la continuité des travaux, des évacuations non annoncées ont été réalisées dans un immeuble de bureaux et dans un cinéma. Le but était de déterminer si les feux clignotants verts pouvaient influencer le choix de sortie dans d'autres contextes environnementaux. Les résultats confirment, là encore, que les feux clignotants verts encouragent les individus à emprunter la porte qui en est équipée (Nilsson, 2009).

Les travaux de Nilsson (2009) sont inspirants pour apporter des éléments de réponse à notre problématique. Toutefois, les travaux de Nilsson (2009) sont spécifiques aux problématiques de l'évacuation lors d'un incendie (i.e., présence de fumée, alarme sonore) et dans des environnements peu complexes (i.e., bâtiment de bureau, cinéma, tunnel routier). Par ailleurs, le feu a la particularité d'être une menace identifiable et facilement localisable contrairement à une menace du type attaque terroriste. Afin de savoir si le dispositif de feux clignotants de Nilsson (2009) était un dispositif adapté pour répondre à notre problématique, une analyse plus ciblée a été menée sur la conception des systèmes de guidage afin de permettre l'émergence d'une solution.

II. Proposition d'un dispositif

Dans ce travail, nous avons utilisé l'approche de l'innovation centrée sur l'humain afin de considérer notre problématique comme le point de départ d'opportunités nouvelles. La proposition d'une solution s'est faite en deux temps et selon trois méthodologies différentes. La première repose sur l'approche par la pratique centrée sur l'utilisateur. La deuxième consistera à mettre à l'épreuve expérimentale pour finir par la troisième méthodologie, la simulation informatique.

L'approche par la pratique centrée sur l'utilisateur

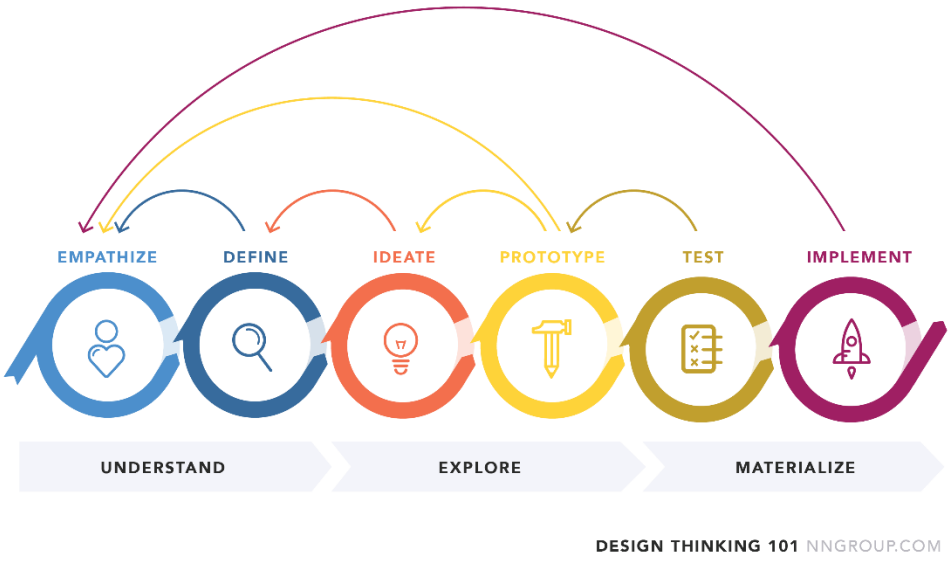
L'approche « par la pratique » est largement utilisée dans le domaine de la création de meubles. Déjà au début du XX^{ème} siècle, le célèbre couple de designers Charles et Ray Eames explorait les besoins de l'utilisateur avant la conception des chaises Eames (Gibbons, 2016). Comme le souligne Al-Hamdani (2013), la notion de « Penser en termes de design » se retrouve rapidement dans les sciences avec le célèbre ouvrage The science of Artificial de Herbert Simon (1969) ou encore dans l'ingénierie du design avec l'ouvrage Expériences in Visual Thinking de Robert McKim (1972). De nos jours, l'approche par la pratique centrée sur l'utilisateur permet

de trouver des solutions innovantes dans des secteurs variés comme l'éducation (Retna, 2013; Pande, 2020), la santé (Le Chaffotec, 2016), les transports (Moerland-Masic, 2021; Mazurek, 2021) ou encore la sécurité (Tekaat, 2019; Konig, 2022).

La figure 8 présente le processus de « design thinking » qui est défini comme une approche pratique centrée sur l'utilisateur. Le design thinking suit trois étapes principales : comprendre, explorer et matérialiser. Ces étapes comprennent 6 phases distinctes : l'empathie, la définition, l'idéation, les prototypes, les tests et l'implémentation (Gibbons, 2016).

Figure 8

Illustration du processus et des étapes du « Design Thinking » selon Nielson Norman Group (emprunté de Gibbons, 2016)



Le « design thinking » est souvent présenté comme une méthode applicable à une infinité de contextes et de problèmes (Gamba, 2016; Buxton, 2007; Péché, 2013). Par exemple, sur la question de l'amélioration de l'apprentissage des élèves, l'étude de Retna (2013) a été menée auprès d'enseignants de plusieurs écoles de Singapour. Les résultats montrent que l'utilisation du « design thinking » améliore les compétences des élèves au niveau de la créativité, de la communication, du travail en équipe et de la résolution de problèmes (Retna, 2013). Dans une autre étude, Al-Hamdani (2013) a utilisé un nouveau modèle d'enseignement

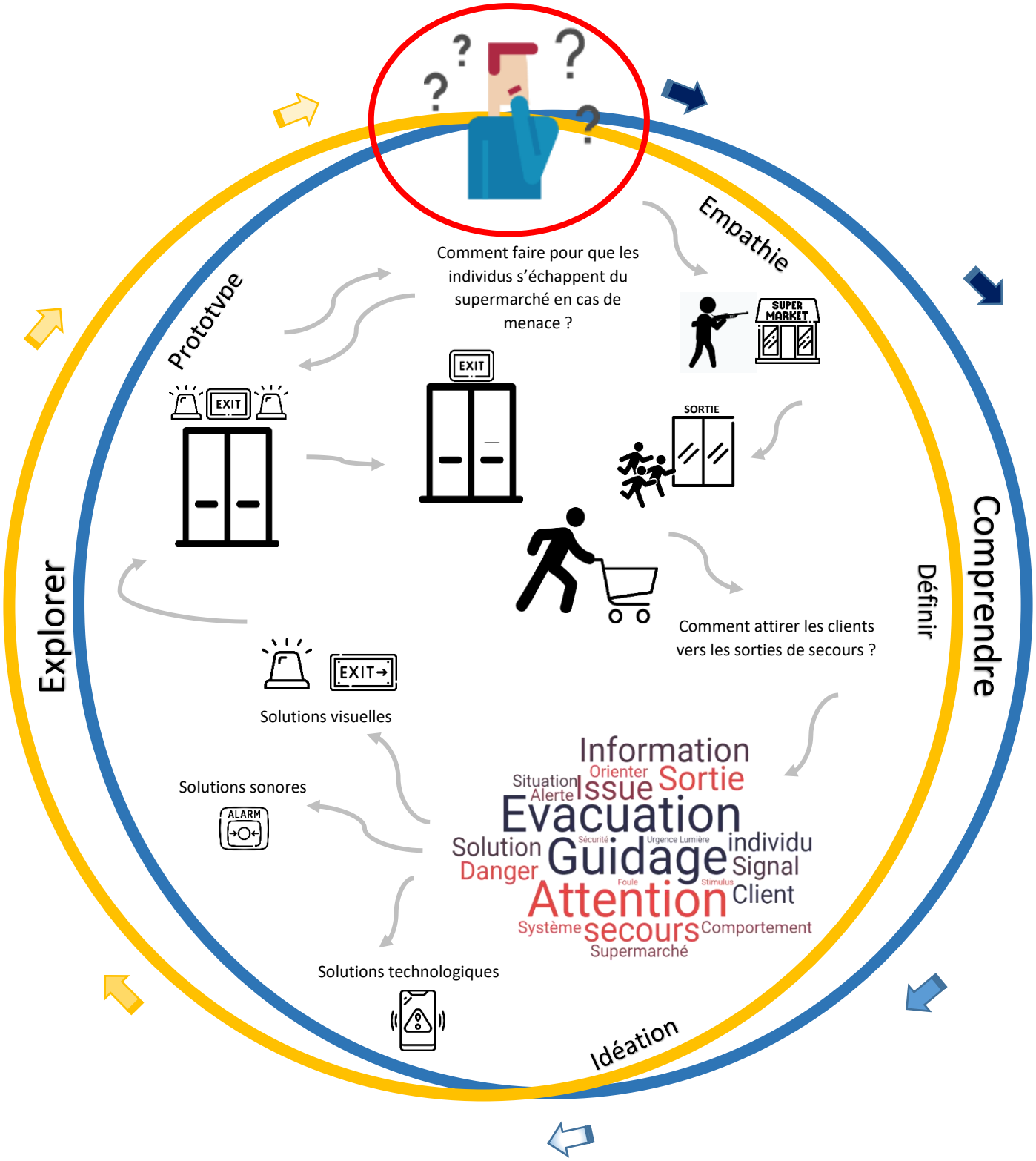
basé sur le « design thinking » pour enseigner un cours sur la sécurité à des étudiants. Les résultats attestent que l'approche pratique du sujet, notamment par le brainstorming et la discussion en groupe, influence la compréhension du programme sur la sécurité par rapport à une approche standard du sujet (Al-Hamdani, 2013). Plus proche de notre sujet, l'étude de Tekaat (2019) en ingénierie automobile propose d'intégrer les questions relatives à la sécurité et à la sûreté sous l'angle du « design thinking » dans les premières phases de la conception du système (par exemple les véhicules autonomes). Comme le souligne l'étude, les questions de sécurité et de sûreté ne sont souvent abordées que lors de l'intégration tardive du système. Les résultats montrent que l'intégration du « design thinking » améliore l'identification précoce des potentiels de menaces et conduit à une analyse plus ciblée des scénarios de menaces dans le processus de conception des systèmes automobiles (Tekaat, 2019).

Dans ce cadre, nous avons proposé une approche d'innovation centrée sur l'utilisateur auprès de 42 élèves ingénieurs d'IMT Mines Alès. L'objectif principal était d'aborder la recherche de solutions sous l'angle de l'étude et de l'observation de l'humain (IHM, Interaction Home-Machine). En effet, si l'approche d'innovation centrée sur l'utilisateur nous intéresse, c'est que la démarche est avant tout une démarche orientée vers l'utilisateur. Plus spécifiquement, grâce au concept d'empathie qui vient humaniser l'expérience de la recherche de solutions. Ainsi, nous avons illustré notre travail autour des 4 premières phases du processus d'approche pratique centrée sur l'utilisateur de la résolution de problèmes.

La figure suivante présente le processus de recherche de solutions des élèves ingénieurs d'IMT Mines Alès. Le processus de recherche de solutions est illustré selon deux étapes principales : comprendre et explorer. Ces étapes comprennent 4 phases distinctes : l'empathie, la définition, l'idéation, les prototypes (Gibbons, 2016; Figure 9).

Figure 9

Illustration du processus de recherche de solutions des élèves ingénieurs de l'IMT adapté des étapes du design thinking d'après Nielson Norman Group (adapté de Gibbons, 2016)



Dans ce travail, nous avons proposé une méthodologie circulaire et itérative. Le point de départ « Quel dispositif développer pour augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ces pas ? » a suivi un cycle structuré par quatre étapes de processus de recherche de solutions : la recherche centrée sur l'utilisateur (l'empathie), la recherche de problèmes par contextualisation (définition), la recherche de solutions autour des besoins de l'utilisateur (idéation) et la sélection de solutions par prototypage (prototype).

A l'issue de l'étape 3 du processus de recherche de solutions (recherche de solutions autour des besoins de l'utilisateur), les résultats obtenus s'articulent autour des 5 types de solutions : des solutions sonores, des solutions olfactives, des solutions visuelles, des solutions technologiques et des solutions hybrides. 18 % des solutions sont sonores (création d'effets sonores et de messages d'alerte), 9 % des solutions sont olfactives (création de tunnels d'odeurs pour diriger l'individu ou le repousser), 9 % sont technologiques (utilisation du smartphone pour géolocaliser les clients, envoyer des notifications ou guider vers les sorties), 9 % des solutions concernent la formation (sensibilisation et exercices), 9 % sont hybrides (combinaison de solutions visuelles, sensorielles et sonores) et 45,45 % sont des solutions visuelles avec des solutions sur l'orientation de la lumière, sur les contrastes lumineux, sur l'optimisation de visibilité de la signalisation, sur l'utilisation des signaux lumineux, sur l'utilisation d'issue de secours transparente ou encore sur la familiarisation des clients avec les issues de secours. Les analyses obtenues sont détaillées en annexe (Annexe A).

En conclusion, les résultats obtenus suggèrent que l'intégration du « design thinking » contribue à 1) l'identification des problèmes des utilisateurs, 2) conduit à une analyse plus ciblée des besoins des utilisateurs dans le processus de conception des systèmes de guidage d'évacuation d'urgence et 3) permet l'émergence de solutions qui répondent aux besoins des utilisateurs adaptés à l'évacuation d'urgence dans un supermarché. Ainsi, en accord avec les

travaux précédemment cités (McClintock et al., 2001; Kunzer, 2020; Nilsson, 2009), et dans l'objectif d'apporter des éléments de réponse à notre problématique de comment faire augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ces pas, le dispositif de guidage actif par des feux clignotants verts aux sorties de secours a été retenu.

III. Problématiques et hypothèses

Comme dit précédemment, le guidage vers les sorties de secours les plus sûres joue un rôle important dans la sauvegarde des clients lors d'une évacuation d'urgence dans un supermarché (McClintock et al., 2001; Carattin, 2011, 2016; Galéa, 2016; Filippidis, 2021; Shields, 2000; Kunzer, 2016). Afin de faciliter l'orientation et le choix de l'itinéraire des individus en situation d'évacuation d'urgence, la conception des issues de secours doit répondre aux normes de sécurité en vigueur définies dans les codes de la règlementation incendie (i.e., nombre de sorties, espacement des sorties, dimensions des portes, signalisation). Cependant, d'autres caractéristiques de la conception des issues de secours pourraient être envisagées afin de favoriser l'orientation et la prise de décision rapide lors d'une évacuation d'urgence dans un supermarché. À cet égard, la possibilité d'un guidage actif par des feux clignotants verts aux sorties de secours sur le comportement des individus en situation d'évacuation d'urgence dans un supermarché a été testée dans une série d'expériences comportementales et de simulations informatiques.

Dans ce travail, notre objectif principal était de mettre à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle les affordances sensorielles, cognitives, physiques et fonctionnelles entre le sujet et son environnement modifient ses choix. En outre, nous avons souhaité mettre en évidence que la modification de l'environnement permet d'aider la prise de décision en situation d'évacuation d'urgence. En accord avec notre hypothèse, la prise de décision de l'individu pourrait bénéficier des ressources intégrées dans l'environnement qui seraient susceptibles d'augmenter les

capacités cognitives qui facilitent l'action. Ainsi, en nous adossant aux études récentes (Galéa, 2016; Filippidis, 2021; Kunzer, 2016) et à la théorie des affordances (Gibson, 1979; Hartson, 2003; Norman, 1988), nous avons réalisé une série de quatre expériences comportementales (Chapitre 2) et de simulations informatiques (Chapitre 3).

Chapitre 2 : Expériences comportementales

Dans une série de quatre expériences comportementales réalisées dans le rayon Pain de mie et le rayon fruits et légumes du supermarché (expérience dite *du Pain de mie*, expérience dite *des Fruits et légumes*, expérience dite *des Fruits et légumes modifiée* et expérience dite *de la truite*), nous avons mis à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle les affordances sensorielles entre le sujet et son environnement modifient ses prises de décision. Pour ce faire, nous avons modifié la signalétique des issues de secours afin d'explorer si la mise en œuvre d'une signalétique dynamique conduirait à une augmentation de l'utilisation des issues de secours.

L'objectif principal était d'observer si un système de guidage actif pouvait influencer le comportement d'évacuation par rapport à la conception standard (i.e., dispositif passif) dans la situation particulière d'une attaque. Rappelons que contrairement à un feu, en cas d'attaque, il n'y a ni odeur, ni fumée permettant aux individus d'avoir recours à une connaissance antérieure les aidant dans leur choix. En outre, la série des expériences comportementales visait à explorer la faisabilité de l'installation d'un système de guidage in situ, en prenant en compte les contraintes réelles d'un supermarché (hauteur des issues de secours, hauteur des rayonnages, luminosité). Pour réaliser cette série d'expériences, nous avons utilisé un dispositif semblable au dispositif expérimental de Nilsson (2009) dans l'environnement complexe du supermarché.

La première expérience dite *du Pain de mie*, avait pour objectif de tester la faisabilité du dispositif actif, sa fonctionnalité en supermarché, son acceptabilité et son influence sur un

choix binaire que devaient réaliser les participants en fonction de leur position par rapport à ce dispositif (porte de gauche ou de droite).

Les deux expériences suivantes, dites *des Fruits et Légumes*, avaient pour but de tester l'impact du dispositif sur le choix des participants, sachant qu'aucune contrainte n'était formulée. Les participants devaient évacuer par là où ils le désiraient. Ces deux expériences nous ont aussi permis de tester le dispositif dans un univers moins contrôlé et comportant de nombreuses sources de variations parasites.

Enfin, dans la dernière expérience dite *de la truite*, les participants réalisaient la même tâche que précédemment à ceci près que nous avons modifié le visuel d'une des issues de secours. Nous avons ainsi diminué l'affordance cognitive entre l'individu et son environnement afin de montrer qu'entraver une issue de secours comme on le voit souvent, rend caduque sa fonctionnalité. Dit simplement, notre objectif était de montrer qu'une simple publicité conduit à ce qu'une porte de secours ne soit plus une porte de secours.

Chapitre 3 : Expérience de simulations informatiques

Dans ce chapitre, nous avons utilisé une approche de modélisation et de simulation basée sur les systèmes multi-agents (SMA) pour la compréhension des comportements, notamment ceux des individus en situation d'urgence dans l'environnement spécifique du supermarché. Dans un contexte de modélisation de l'environnement du supermarché virtuel et de modélisation des caractéristiques et des comportements probabilistes des individus, notre objectif était de mettre à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle les affordances entre le sujet et son environnement modifient ses possibilités d'actions. Une série de simulations informatiques, issue de l'intelligence artificielle basée sur les systèmes multi-agents (SMA), a été réalisée dans l'objectif de modéliser, développer et visualiser les mouvements individuels des clients et des personnels lors d'une évacuation d'urgence dans un supermarché.

CHAPITRE 2

Études comportementales

2.1. Expérience *du Pain de mie*

Dans une première expérience comportementale dite expérience *du Pain de mie,* notre objectif était d'observer si dans un environnement contrôlé, la signalisation des issues de secours avec un dispositif de feux clignotants verts (ie., guidage actif) pouvait influencer le comportement d'évacuation par rapport à la signalisation standard sans feux clignotants verts (i.e., dispositif passif). En outre, l'expérience *du Pain de mie* visait à déterminer si les feux clignotants verts étaient le système de guidage adapté pour l'environnement saturé d'informations visuelles du supermarché. Pour ce faire, nous avons équipé deux issues de secours du dispositif de feux clignotants verts de Nilsson (2009) dans un rayon Boulangerie Pâtisserie libre-service (i.e., pain de mie) d'un hypermarché. Chaque participant avait la possibilité de choisir entre deux portes, sachant que l'une clignotait et l'autre non; et sachant que le participant pouvait être en face, au centre ou à l'opposé de la porte qui clignotait. Notre hypothèse était que le nombre de choix de sortie sera supérieur lorsque la porte qui clignote par rapport à la porte qui ne clignote pas.

2.1.1. Participants

144 clients francophones du supermarché ont participé de manière individuelle à l'expérience *du Pain de mie*. Leurs accompagnants et les mineurs ont été exclus de toute participation. L'âge moyen des participants était de 39,67 ans (ds : 18,58) avec un minimum et un maximum respectivement de 18 à 84 ans. Le genre a été contrôlé avec 70 femmes et 74 hommes ayant pris part à l'expérience. L'expérience a été réalisée le mercredi et le vendredi entre 10 h et 18 h. Le recrutement des participants a été effectué directement auprès des clients présents dans le supermarché lors de leur passage à proximité du stand de l'expérimentateur. Les participants ont reçu très peu d'informations lors du recrutement avant l'expérience. L'expérimentateur a seulement énoncé qu'il s'agissait d'une étude scientifique sur le

comportement des clients dans le magasin. Ils ont été également informés que l'expérience était sans danger et qu'ils pouvaient arrêter l'expérience à tout moment. Les participants étaient volontaires pour participer à l'expérience et un consentement écrit a été recueilli pour chacun des participants à l'expérience.

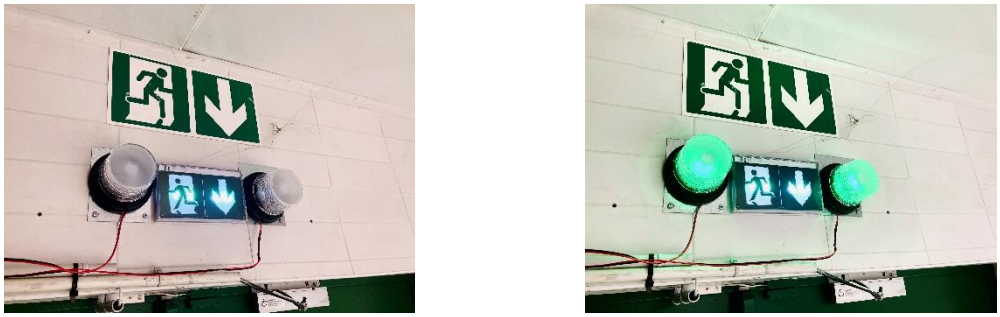
2.1.2. Matériel et méthode

Le système de guidage. Le système de guidage utilisé dans notre expérience est un dispositif au plus proche du dispositif décrit dans l'étude de Nilsson (2009; Figure 11; Annexe B). Les feux clignotants de la marque DINFU modèle E3-L étaient composés d'ampoules vertes (Figure 10). Toutes les ampoules des feux clignotants clignotaient simultanément à une fréquence de 1 Hz. Les feux clignotants sont installés de chaque côté du panneau d'issue de secours rétroéclairé au-dessus des deux issues de secours (Annexe B).

La figure suivante illustre le dispositif expérimental composé de feux clignotants des deux côtés du panneau de signalisation rétroéclairé en état passif (A) et en état actif (B).

Figure 10

Illustration du dispositif expérimental (A. état passif et B. état actif)



A B

Configuration de la zone de l'expérience. L'expérience 1 dite *du Pain de mie* a été réalisée dans le rayon Boulangerie Pâtisserie libre-service (i.e., pain de mie) de l'hyper U de Mende. La zone du rayon utilisée a une superficie de 15,5 m de long, 6 m de large et une distance du sol au plafond de 11 m. Au milieu de la zone, il y a une gondole centrale de 6,30 m de long, de 0,77 m de large et de 1,80 m de haut (Figure 11). Les croix indiquent la position des participants selon trois modalités (variable inter-individuelle) : soit la position était à gauche (croix bleue), au centre (croix noire) ou à droite (croix orange) de la gondole centrale (Figure, 11).

Figure 11

La zone utilisée dans l'expérience du Pain de mie



Conditions expérimentales. Le système de guidage pouvait être soit actif sur la porte de gauche, soit inactif sur les deux portes, soit actif pour la porte de droite. L'ensemble des manipulations nous conduit aux 9 conditions expérimentales (Tableau 1).

Tableau 1

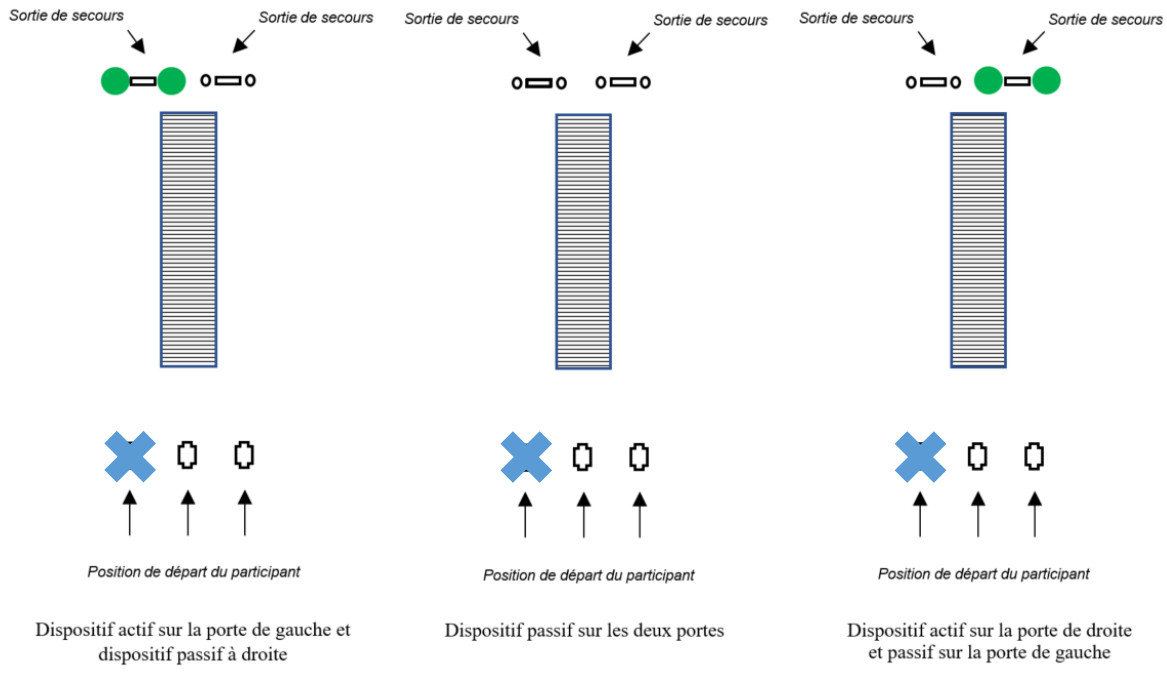
Les conditions expérimentales de l'expérience du Pain de mie

Position de départ	**Système de guidage**	
	Porte de secours 1	Porte de secours 2
1. Gauche	actif	passif
2. Milieu	actif	passif
3. Droite	actif	passif
4. Gauche	passif	actif
5. Milieu	passif	actif
6. Droite	passif	actif
7. Gauche	passif	passif
8. Milieu	passif	passif
9. Droite	passif	passif
Nombre total de participants	16*9	

La figure suivante illustre pour une meilleure compréhension les conditions 1, 4 et 7 :

Figure 12

Les conditions expérimentales 1, 4 et 7



Dispositif actif sur la porte de gauche et dispositif passif à droite

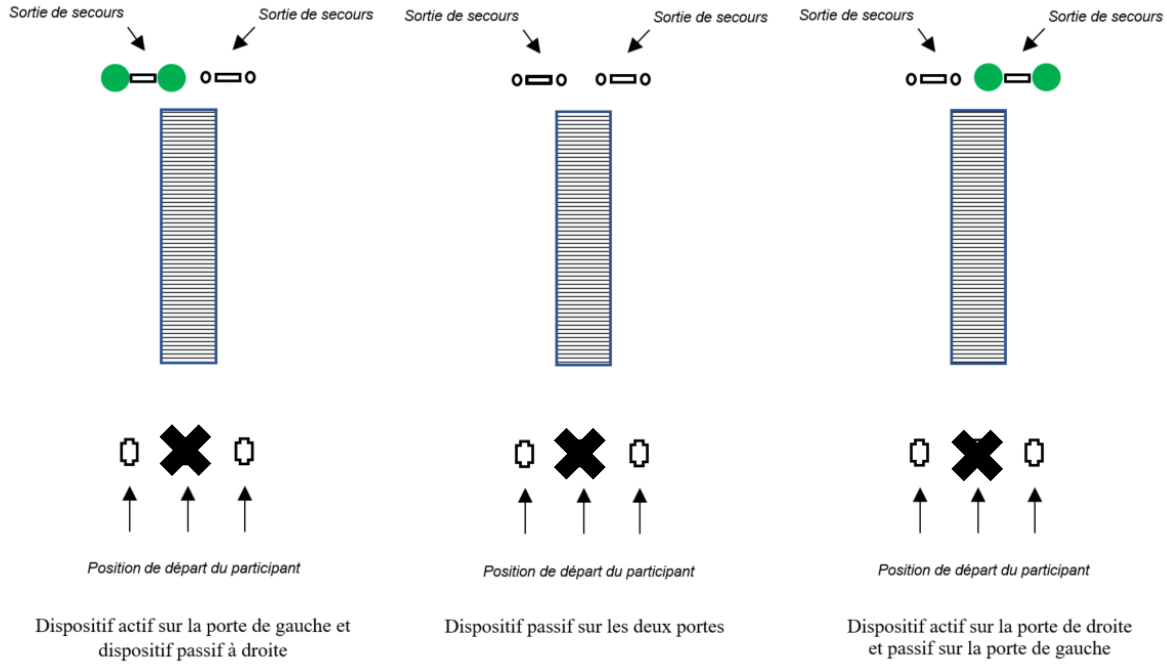
Dispositif passif sur les deux portes

Dispositif actif sur la porte de droite et passif sur la porte de gauche

La figure suivante illustre pour une meilleure compréhension les conditions 2, 5 et 8 :

Figure 13

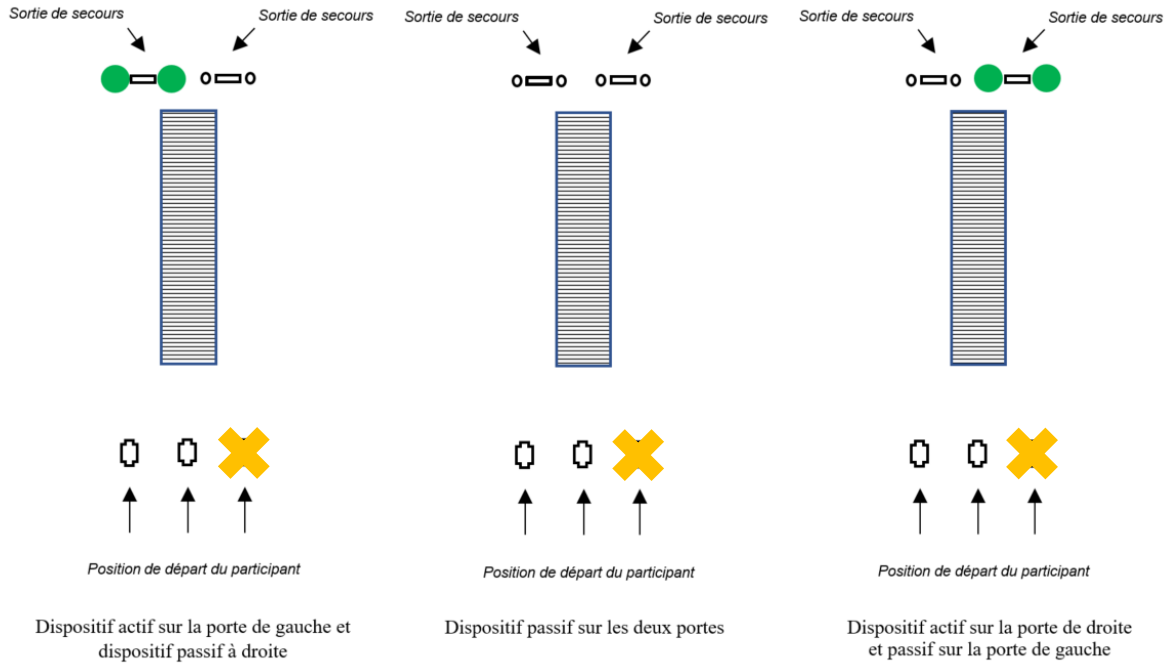
Les conditions expérimentales 2, 5 et 8



La figure suivante illustre pour une meilleure compréhension les conditions 3, 6 et 9 :

Figure 14

Les conditions expérimentales 3, 6 et 9



2.1.3. Procédure

Après avoir reçu les informations préalables, l'expérimentateur donnait la consigne suivante au participant : Essayez d'imaginer le scénario suivant. Vous êtes en train de faire vos courses. Vous comprenez qu'il se passe un incident grave dans le magasin derrière vous (la zone est indiquée par l'expérimentateur). Vous voulez sortir d'ici parce que vous voulez vous rendre dans un endroit sûr. Indiquez-moi votre direction de sortie (la zone des sorties de secours est indiquée par l'expérimentateur). L'expérimentateur s'assure que le participant a bien compris la consigne. Si ce n'est pas le cas, la consigne est à nouveau explicitée, mais non répétée dans son intégralité. Une fois que le participant a compris la consigne, l'expérimentateur indique au participant de le suivre en regardant vers le sol jusqu'à qu'il le place sur une des trois positions de départ. Lorsque le participant est placé sur la position de départ indiquée, un décompte est annoncé à partir de 3. À la fin du décompte, le participant est libre du choix de la sortie dans la zone indiquée par l'expérimentateur. Son choix est noté par l'observateur qui reste au même endroit tout au long de l'expérience.

2.1.4. Résultats

L'ensemble des résultats de l'expérience *du Pain de mie* se trouvent en annexe (Annexe C).

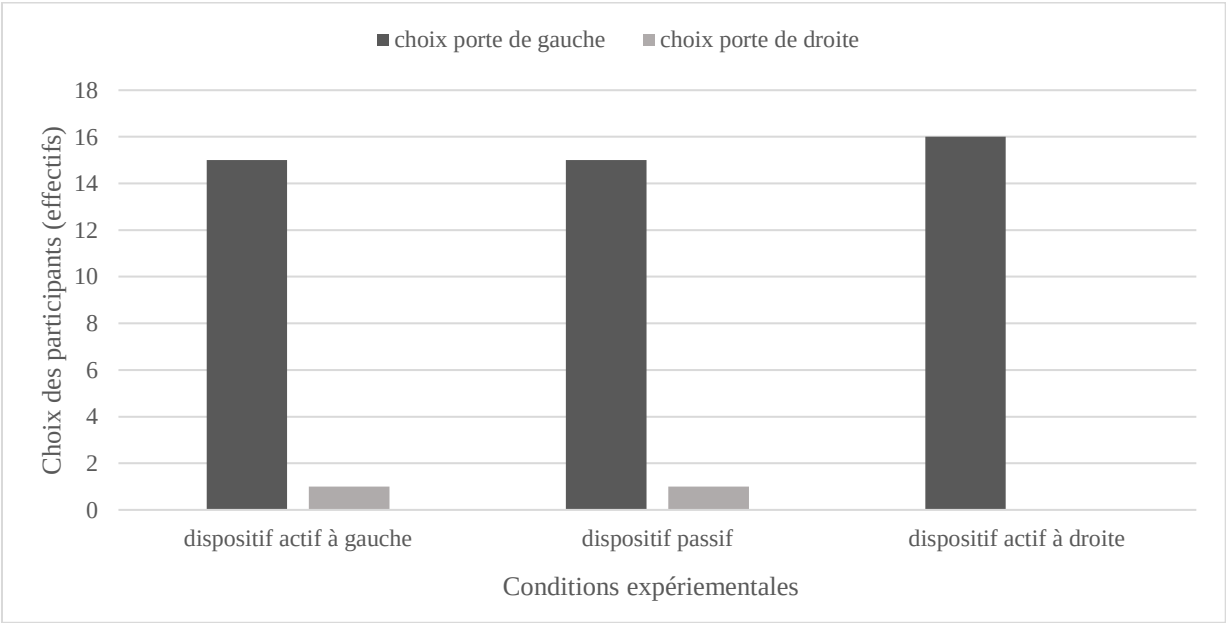
Dans l'expérience dite *du Pain de mie,* chaque participant pouvait choisir entre deux portes (l'une clignotait et l'autre non) et ce dernier pouvait être en face, au centre ou à l'opposé de la porte qui clignotait. Le participant pouvait être placé à gauche (i.e., à gauche de la gondole centrale), au centre (i.e., face à la gondole centrale) ou à droite (i.e., à droite de la gondole centrale).

Lorsque l'individu est placé à gauche

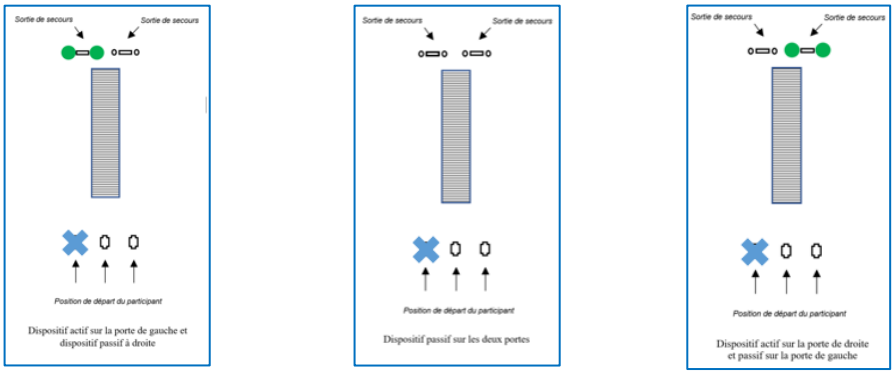
Chaque participant était placé à gauche de la gondole centrale et pouvait choisir entre deux portes, sachant qu'une des deux portes clignotait soit à gauche, soit à droite, soit aucune des deux ne clignotait. La figure 15 indique le choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (gauche) et l'état du dispositif (actif à gauche, passif, actif à droite).

Figure 15

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (gauche) et l'état du dispositif (actif à gauche, passif, actif à droite).



A **B** **C**



De manière descriptive, les participants empruntent quasi exclusivement la porte de gauche pour évacuer, et ce pour l'ensemble de situations étudiées. Nous avons comparé les décisions des participants dans chacune des modalités expérimentales (clignotement à gauche [A] et à droite [C]) à la modalité contrôle (pas de clignotement [B]) :

- ***Actif à gauche versus dispositif Passif (A versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont placés à gauche, choisissent la porte de gauche, que cette dernière clignote (n = 15, 93.75 %) ou pas (n = 15, 93.75 %) [X^2 (1, N = 32) = 0, p = .1)].

- ***Actif à droite versus dispositif Passif (C versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont placés à gauche, choisissent toujours la porte de gauche, que la porte de droite clignote (n = 16, 100 %) ou pas (n = 15, 93.75 %) [X^2 (1, N = 32) = 0, p = .1)].

En résumé, lorsque les participants sont placés à gauche du rayon, le dispositif s'avère inefficace. Il n'influence pas les décisions des participants. En effet, ces derniers choisissent d'évacuer par l'issue de secours de gauche, que celle-ci soit active (à gauche comme à droite) ou inactive.

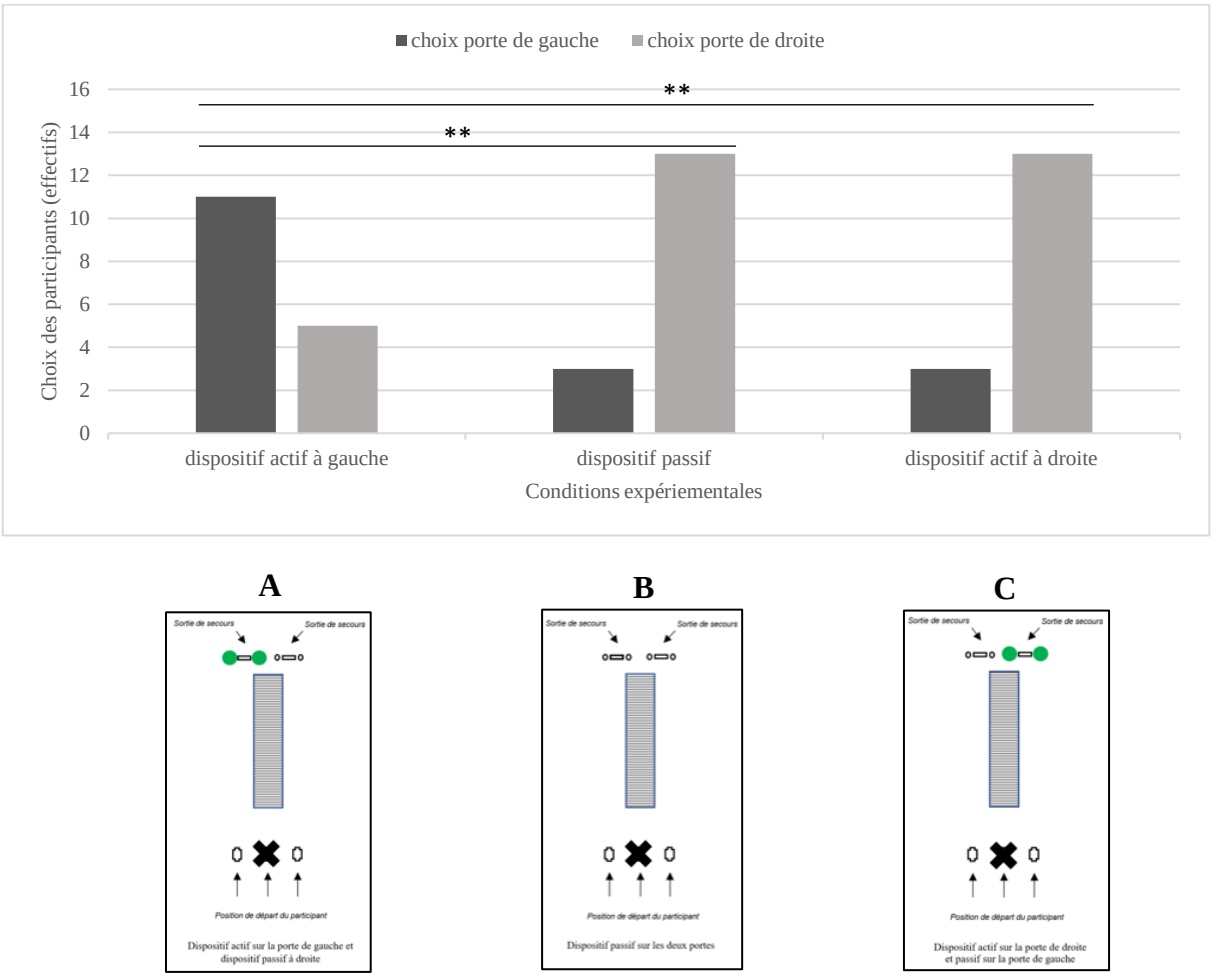
Les résultats suivants montrent le choix de sortie des participants, lorsque ces derniers sont placés face à la gondole centrale et pouvaient choisir entre deux portes qui clignotaient soit à gauche, soit à droite ou soit aucune des deux.

Lorsque l'individu est placé au centre (derrière la gondole)

La figure 16 suivante montre le choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (milieu) et l'état du dispositif (actif à gauche, passif, actif à droite).

Figure 16

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (milieu) et l'état du dispositif (actif à gauche, passif, actif à droite).



Note. * p < .05. ** p < .01. *** p < .001.

De manière descriptive, les participants empruntent différemment les issues de secours en fonction de la situation expérimentale. Statistiquement, les participants se dirigent majoritairement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche (n = 11, 68.75 %), et inversement les participants se dirigent majoritairement vers la droite quand le dispositif est

actif à droite (n = 13, 81.25 %) [X^2 (1, N = 32) = 6.22, p = .01]. La mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30. Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous pouvons constater que l'état du dispositif influence le choix des participants.

Nous avons, dans un second temps, comparé les décisions des participants dans chacune des modalités expérimentales (clignotement à gauche [A] et à droite [C]) à la modalité contrôle (pas de clignotement [B]) :

- ***Actif à gauche versus dispositif Passif (A versus B)*** : la présence de clignotements à gauche conduit les participants à choisir préférentiellement la porte de gauche (n = 11, 68.75 %) par rapport au dispositif passif classique (n = 3, 18.75 %) [X^2 (1, N = 32) = 6.22, p = .01]. De plus, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme fort compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30.

- ***Actif à droite versus dispositif Passif (C versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont placés au centre, choisissent majoritairement la porte de droite, que la porte de droite clignote (n = 13, 81.25 %) ou pas (n = 13, 81.25 %) [X^2 (1, N = 32) = 0, p = .1)].

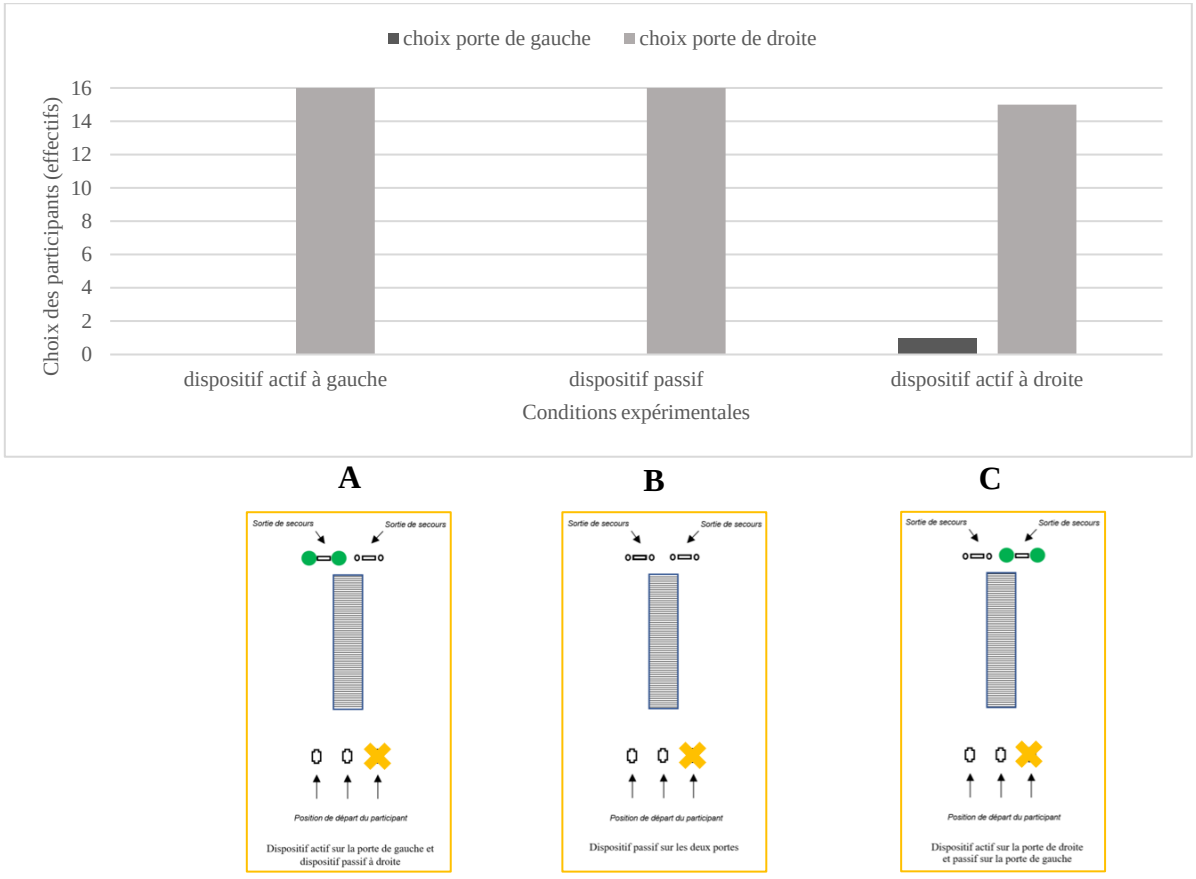
En résumé, lorsque les participants sont placés au centre (face à la gondole), le dispositif s'avère efficace. Il influence les décisions des participants qui choisissent majoritairement d'évacuer par la porte qui clignote, que celle-ci soit active à gauche ou à droite.

Lorsque l'individu est placé à droite

La figure 17 suivante montre le choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (droite) et l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).

Figure 17

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (droite) et l'état du dispositif



De manière descriptive, les participants empruntent quasi exclusivement la porte de droite pour évacuer, et ce pour l'ensemble de situations étudiées. Nous avons comparé les décisions des participants dans chacune des modalités expérimentales (clignotement à gauche [A] et à droite [C]) à la modalité contrôle (pas de clignotement [B]) :

– ***Actif à gauche versus dispositif Passif (A versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont

placés à droite du rayon choisissent la porte de droite, que cette dernière clignote (n = 16; 100 %) ou pas (n = 15; 93.75 %) [X^2 (1, N = 32) = 0, p = .1)].

– ***Actif à droite versus dispositif Passif (C versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont placés à droite du rayon, choisissent toujours la porte de droite, que la porte de droite clignote (n = 16; 100 %) ou pas (n = 15; 93.75 %) [X^2 (1, N = 32) = 0, p = .1)].

En résumé, lorsque les participants sont placés à droite du rayon, le dispositif s'avère inefficace. Il n'influence pas les décisions des participants. En effet, ces derniers choisissent d'évacuer par l'issue de secours de droite, que celle-ci soit active (à gauche comme à droite) ou inactive.

2.1.5. Conclusion

L'analyse des résultats de la première expérience met en évidence que lorsque le participant est placé entre deux portes, le comportement des participants est influencé par l'état du dispositif de signalisation des issues de secours. Plus précisément, le participant se dirige vers l'issue de secours qui est équipée du dispositif de signalisation actif plutôt que vers la porte équipée du dispositif de signalisation passif. Cependant, lorsque le participant est placé en face d'une porte, il se dirige majoritairement vers la sortie la plus proche et cela que le dispositif soit actif ou passif. Une interprétation simple est que la gondole de pain de mie gêne la prise d'information visuelle dans l'espace controlatérale à l'individu. Cette donnée, non explorée particulièrement en première intention, est importante en vue de futures préconisations : prendre en compte la présence ou non de gondoles hautes dans le choix de la disposition des issues de secours. Ou inversement, prendre en compte la position des issues pour décider de la hauteur des gondoles à proximité.

2.2. Expérience *des Fruits et légumes*

Dans la première expérience dite *du Pain de mie,* nous avons testé la faisabilité du dispositif de signalisation active dans un environnement contrôlé du supermarché. Dans les deux expériences suivantes dites *des Fruits et légumes*, l'objectif a pour but de tester l'influence du dispositif dans un environnement non contrôlé et complexe (i.e., variations parasites). Comme dans la première expérience, nous avons équipé les issues de secours du dispositif de feux clignotants verts du rayon Fruits et légumes de l'hypermarché. Chaque participant avait la possibilité de choisir entre deux portes qui, comme dans l'expérience précédente, l'une clignotait et l'autre non. Notre hypothèse était que le nombre de choix de sortie sera supérieur pour la porte qui clignote par rapport à la porte qui ne clignote pas.

2.2.1. Participants

72 clients francophones du supermarché ont participé de manière individuelle à l'expérience *des Fruits et légumes.* Leurs accompagnants et les mineurs ont été exclus de toute participation. L'âge moyen des participants était de 41,46 ans (ds : 16.09) avec un minimum et un maximum respectivement de 18 à 73 ans. Le genre a été contrôlé avec 38 femmes et 34 hommes ayant pris part à l'expérience. L'expérience a été réalisée le mercredi et le vendredi entre 10 h et 18 h. Le recrutement des participants a été effectué directement auprès des clients présents dans le supermarché lors de leur passage à proximité du stand de l'expérimentateur. Les participants ont reçu très peu d'informations lors du recrutement avant l'expérience. L'expérimentateur a seulement énoncé qu'il s'agissait d'une étude scientifique sur le comportement des clients dans le magasin. Ils ont été également informés que l'expérience était sans danger et qu'ils pouvaient arrêter l'expérience à tout moment. Les participants étaient volontaires pour participer à l'expérience et un consentement écrit a été recueilli pour chacun des participants à l'expérience.

2.2.2. Matériel et méthode

Le système de guidage. Le système de guidage est identique au dispositif de l'expérience *du Pain de Mie* (section 2.1.2).

Configuration de la zone de l'expérience. L'expérience 2 dite *des Fruits et légumes* a été réalisée entre les rayons Boucherie/Poissonnerie/Fruits et légumes (i.e., Fruits et légumes) du supermarché de l'hyper U de Mende (figure 18). La zone utilisée à une superficie de 46,5 de long, 19,30 m de large et une distance du sol au plafond de 11 m. Le rayon est à une distance en moyenne de 77,5 m de l'entrée principale (Figure 9). Dans l'expérience *des Fruits et légumes*, il y a une unique position du participant au début de l'expérience. La position du participant est située face aux deux portes d'issue de secours de la zone, à égale distance entre la porte d'issue de secours placé à gauche du participant et la porte d'issue de secours de droite du participant (15,5 m). La croix blanche indique la position des participants. Suite à l'expérience *du Pain de mie*, nous avons pris soin, dans cette configuration, qu'aucune gondole ne vienne gêner la visibilité des issues.

Les conditions expérimentales. Le système de guidage pouvait être soit actif sur la porte de gauche, soit inactif, soit actif pour la porte de droite. L'ensemble des manipulations nous conduit aux 3 conditions expérimentales suivantes (tableau 2) :

Tableau 2

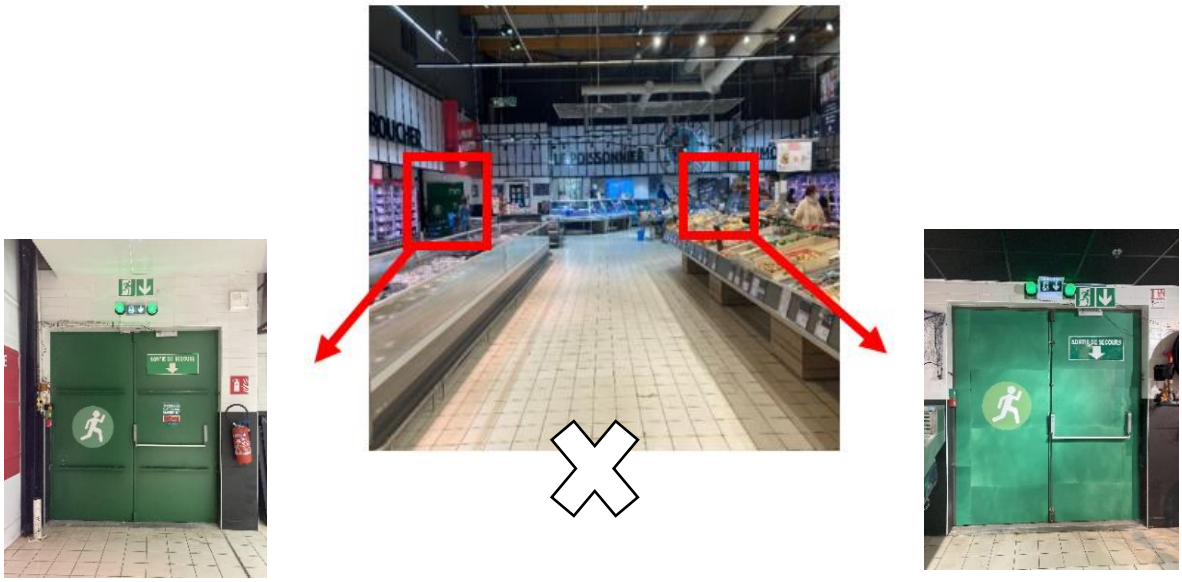
Les conditions expérimentales de l'expérience des Fruits et légumes

		Type de sortie	
	Conditions	Porte de secours 1	Porte de secours 2
Système de guidage	1	actif	passif
	2	passif	passif
	3	passif	actif
Nombre total de participants		24*3	

La figure suivante illustre pour une meilleure compréhension la zone utilisée du supermarché :

Figure 18

La zone utilisée dans l'expérience des Fruits et légumes



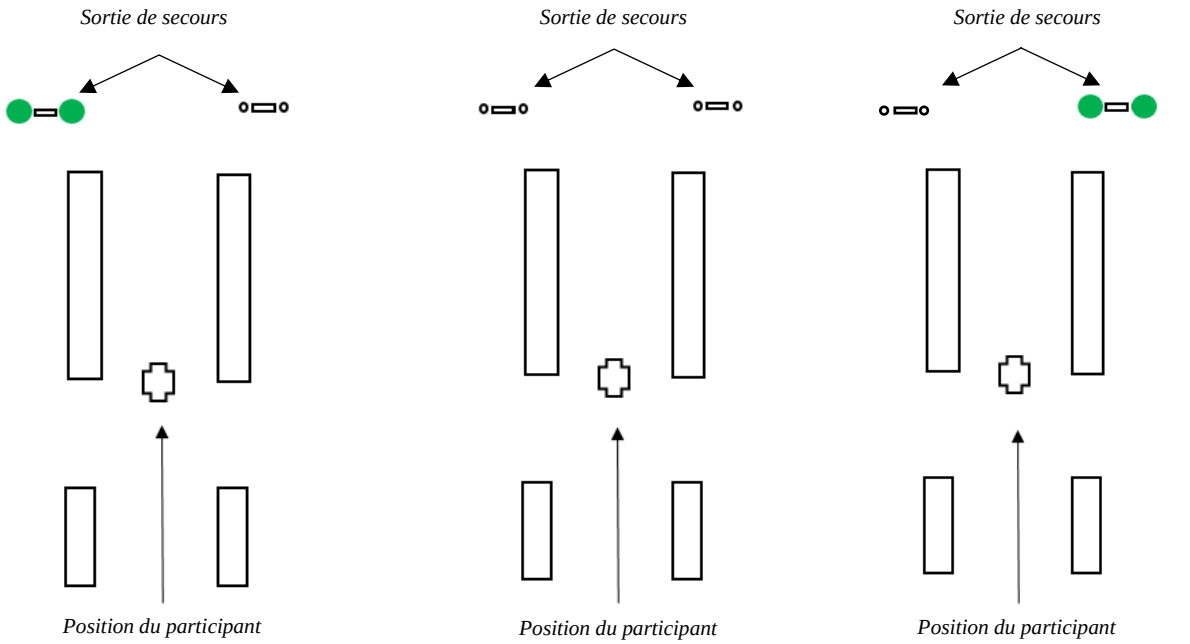
Issue de secours

Issue de secours modifiée

La figure suivante illustre pour une meilleure compréhension les conditions 1,2 et 3

Figure 19

Les conditions expérimentales 1, 2 et 3



Dispositif actif sur la porte de gauche et dispositif passif sur la porte de droite

Dispositif passif sur les deux portes

Dispositif actif sur la porte de droite et dispositif passif sur la porte de gauche

2.1.3. Procédure

Après avoir reçu les informations préalables, l'expérimentateur donnait la consigne suivante au participant : *Essayez d'imaginer le scénario suivant. Vous êtes en train de faire vos courses. Vous comprenez qu'il se passe un incident grave dans le magasin derrière vous (la zone est indiquée par l'observateur). Vous voulez sortir d'ici parce que vous voulez vous rendre dans un endroit sûr. Indiquez-moi votre direction de sortie.* L'expérimentateur s'assure que le participant a bien compris la consigne. Dans l'affirmative, il est demandé au participant de suivre l'examinateur jusqu'à la position de départ en regardant vers le sol. Dans la négative, la consigne est explicitée, mais non répétée dans son intégralité. Une fois que le participant a compris la consigne, l'expérimentateur indique au participant de le suivre en regardant vers le sol jusqu'à ce qu'il le place sur la position de départ. Lorsque le participant est placé sur la position de départ indiquée, un décompte est annoncé à partir de 3. À la fin du décompte, le participant est libre du choix de la sortie. Son choix est noté par l'observateur qui reste au même endroit tout au long de l'expérience.

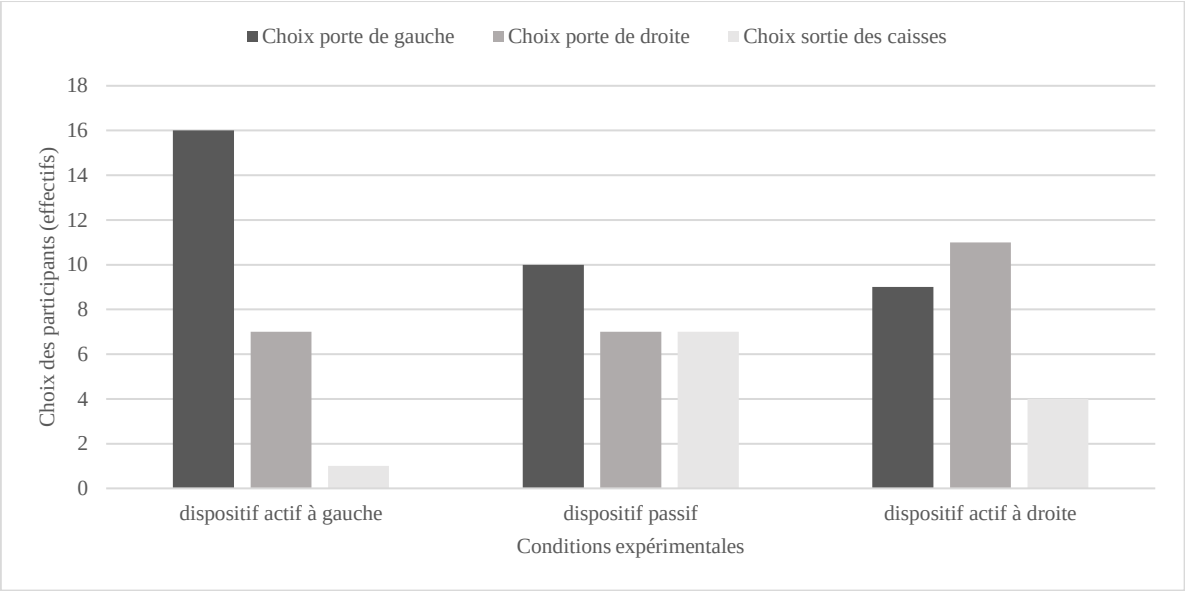
2.1.4. Résultats

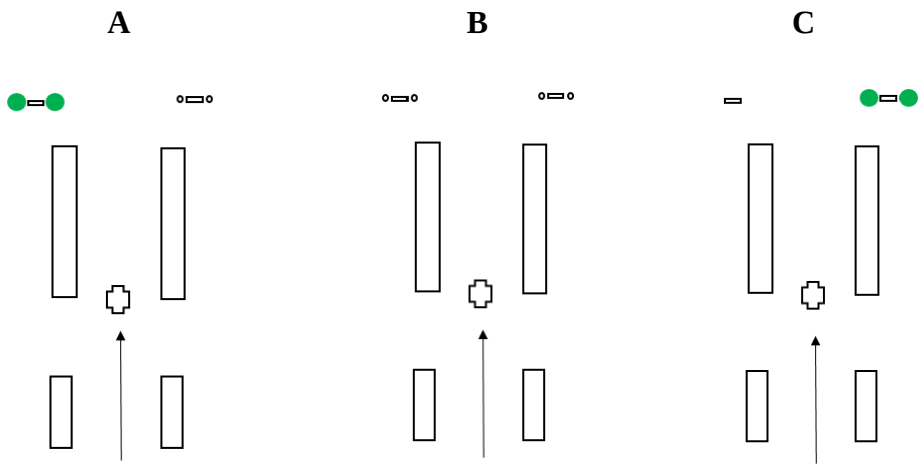
L'ensemble des résultats se trouvent en annexe (Annexe E).

De manière descriptive, les participants empruntent différemment les issues de secours en fonction de la situation expérimentale. Les participants se dirigent majoritairement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche (n = 16, 66.66 %), et inversement les participants ont tendance à se diriger vers la droite quand le dispositif est actif à droite (n = 11, 45.83 %) [X^2 (1, N = 48) = 1.74, p =.19]. La mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30. Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous pouvons constater que l'état du dispositif influence le choix des participants.

Figure 20

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif





Nous avons, dans un second temps, comparé les décisions des participants dans chacune des modalités expérimentales (clignotement à gauche [A] et à droite [C]) à la modalité contrôle (pas de clignotement [B]) :

– ***Actif à gauche versus dispositif Passif (A versus B)*** : la présence de clignotement à gauche conduit les participants à choisir préférentiellement la porte de gauche (n = 16, 66.67 %) par rapport au dispositif passif classique (n = 10, 41.61 %) [X^2 (1, N = 48) = 0.14, p = .71]. De plus,

la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme fort compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30.

– ***Actif à droite versus dispositif Passif (C versus B)*** : la présence de clignotement conduit les participants à choisir plutôt la porte de droite, que la porte de droite clignote (n =11, 45.83 %) par rapport au dispositif classique (n = 7, 29.17 %) [X^2 (1, N = 48) = 0.26, p = .61)].

En résumé, les participants ont tendance à choisir la sortie par la porte qui clignote lorsque la porte de gauche est active. En revanche, les résultats sont plus ambigus pour la porte de droite.

2.1.5. Conclusion

L'analyse des résultats de l'expérience *des Fruits et légumes* révèle que le dispositif s'avère inefficace. Plus précisément, le choix de sortie n'est pas significativement différent pour la porte qui clignote par rapport à la porte qui ne clignote pas. Ainsi, les résultats de l'expérience *des Fruits et légumes* n'ont pas permis de mettre en évidence l'efficacité du dispositif observé dans l'environnement contrôlé de l'expérience *du Pain de mie*. En tenant compte des contraintes d'un environnement plus complexe du point de vue de la saturation visuelle entre les deux expériences, nous avons interprété ce résultat comme la résultante d'une consigne trop complexe et trop inductive pour le participant.

En nous appuyant sur la proposition de Stoffregen (2003), nous envisageons que l'effet d'affordance sensorielle ne peut être observé que lorsque la relation sujet-environnement est signifiante dans la situation actuelle. Ce caractère signifiant pourrait être porté ici par les potentiels d'action du sujet dans un environnement et un contexte spécifique. Or dans l'expérience *des Fruits et légumes*, la consigne comprenait des éléments en faveur d'une action vers les sorties familières (i.e., sortie des caisses). Dans cette troisième expérience, nous avons

souhaité simplifier la consigne en supprimant les éléments relatifs à la sortie pour les remplacer par des éléments relatifs à l'action.

2.3. Expérience *des Fruits et légumes modifiée*

2.3.1. Participants

72 clients francophones du supermarché ont participé de manière individuelle à l'expérience *des Fruits et légumes modifiée.* Leurs accompagnants et les mineurs ont été exclus de toute participation. L'âge moyen des participants était de 43,82 ans (ds : 16,27) avec un minimum et un maximum respectivement de 18 à 78 ans. Le genre a été contrôlé avec 36 femmes et 36 hommes ayant pris part à l'expérience. L'expérience a été réalisée le mercredi et le vendredi entre 10 h et 18 h. Le recrutement des participants a été effectué directement auprès des clients présents dans le supermarché lors de leur passage à proximité du stand de l'expérimentateur. Les participants ont reçu très peu d'informations lors du recrutement avant l'expérience. L'expérimentateur a seulement énoncé qu'il s'agissait d'une étude scientifique sur le comportement des clients dans le magasin. Ils ont été également informés que l'expérience était sans danger et qu'ils pouvaient arrêter l'expérience à tout moment. Les participants étaient volontaires pour participer à l'expérience et un consentement écrit a été recueilli pour chacun des participants à l'expérience.

2.3.2. Matériel et méthode

Le système de guidage. Le système de guidage est identique au dispositif de l'expérience *Pain de Mie* (section 2.1.2).

Configuration de la zone de l'expérience. La configuration de l'expérience est identique à l'expérience du Pain de mie (section 2.2.2).

Les conditions expérimentales. Les conditions expérimentales sont identiques à l'expérience *des Fruits et légumes* (section 2.2.2)

2.3.3. Procédure

Dans l'expérience *des Fruits et légumes modifiée*, nous avons modifié l'expérience *des Fruits et légumes* uniquement au niveau de la consigne comme suit. La consigne de l'expérience *des Fruits et légumes* était : *Essayez d'imaginer le scénario suivant. Vous êtes en train de faire vos courses. Vous comprenez qu'il se passe un incident grave dans le magasin derrière vous (la zone est indiquée par l'observateur). Vous voulez sortir d'ici parce que vous voulez vous rendre dans un endroit sûr. Indiquez-moi votre direction de sortie*. La consigne devient pour l'expérience *des Fruits et légumes modifiée* : *Essayez d'imaginer le scénario suivant. Vous êtes en train de faire vos courses. Vous comprenez qu'il se passe un incident grave dans le magasin derrière vous (la zone est indiquée par l'observateur). Que faites-vous ?*

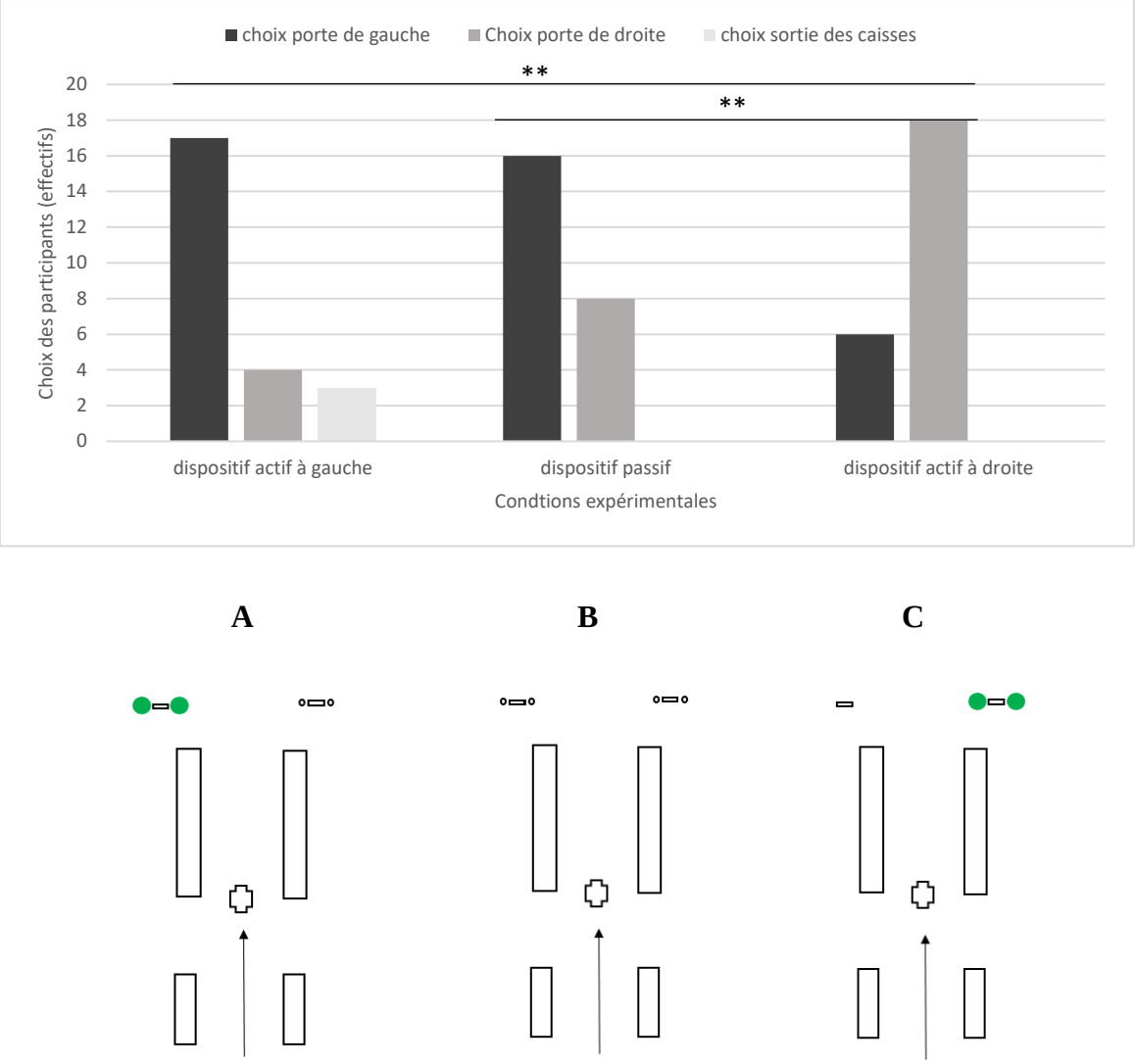
2.3.4. Résultats

L'ensemble des résultats se trouve en annexe (Annexe F)

De manière descriptive, les participants empruntent différemment les issues de secours en fonction de la situation expérimentale. Statistiquement, les participants se dirigent majoritairement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche (n = 17, 70.83 %), et inversement les participants se dirigent majoritairement vers la droite quand le dispositif est actif à droite (n = 18, 18.75 %) [X^2 (1, N = 48) = 6.91, p = .0085]. La mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30.

Figure 21

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif de la porte



Note. * p < .05. ** p < .01. *** p < .001.

Nous avons, dans un second temps, comparé les décisions des participants dans chacune des modalités expérimentales (clignotement à gauche [A] et à droite [C]) à la modalité contrôle (pas de clignotement [B]) :

- ***Actif à gauche versus dispositif Passif (A versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas la décision des participants. Ces derniers choisissent majoritairement la porte

de gauche, que la porte clignote (n = 17, 70.83 %) ou pas (n = 16, 66.66 %) [X^2 (1, N = 48) = 0.55, p = .46].

- ***Actif à droite versus dispositif Passif (C versus B)*** : la présence de clignotement à droite conduit les participants à choisir préférentiellement la porte de droite (n =18, 75 %) par rapport au dispositif passif classique (n = 8, 33.33 %) [X^2 (1, N = 48) = 6.79, p = .009].

En résumé, l'expérience *des Fruits et légumes modifiée* montre que le dispositif s'avère efficace. Il influence les décisions des participants qui choisissent majoritairement d'évacuer par la porte qui clignote, que celle-ci soit active à gauche ou à droite.

2.3.5. Conclusion

Dans la troisième expérience (Expérience des *Fruits et légumes modifiée*), nous avons observé que dans un environnement non contrôlé, complexe et comportant de nombreuses sources de variations parasites, le comportement des participants était significativement influencé par l'état du dispositif de signalisation des issues de secours. Plus précisément lorsque les participants sont libres de choisir par où ils veulent évacuer, ils choisissent majoritairement de se diriger vers la porte qui clignote, que cette dernière clignote à droite ou à gauche.

Toutefois, nous avons remarqué qu'il peut être difficile pour les clients des supermarchés de savoir si la sortie peut être utilisée en cas d'urgence. En effet, si un système de signalisation est mal conçu, il peut conduire à la création d'affordances qui rentrent en conflit les unes avec les autres (Carratin, 2016; Nilsson, 2009). Comme par exemple, un panneau placé sur la porte qui indique de ne pas l'utiliser « *Ne pas ouvrir* ». En accord avec la théorie des affordances, nous postulons qu'un système de signalisation se doit d'être facile à comprendre (affordance cognitive), facile à remarquer, voir et lire (affordances sensorielles), facile à utiliser

(affordances physiques) pour qu'en conséquence l'objet engage à agir en fournissant une affordance fonctionnelle (Hartson, 2003).

L'objectif de notre quatrième expérience dite *de la truite* était d'observer si un système de guidage avec des feux clignotants verts pouvait être efficace lorsque l'issue de secours présente une affordance sous-optimale. Pour ce faire, nous avons proposé aux participants de réaliser la même tâche que dans l'expérience *des Fruits et légumes modifiée* après avoir diminué l'affordance cognitive entre l'individu et l'environnement. Dit simplement, nous avons modifié le visuel d'une des deux issues de secours afin de montrer qu'une publicité sur une porte de secours conduit à rendre caduque sa fonctionnalité.

2.4. Expérience *de la truite*

2.4.1. Participants

72 clients francophones du supermarché ont participé de manière individuelle à l'expérience *de la truite.* Leurs accompagnants et les mineurs ont été exclus de toute participation. L'âge moyen des participants était de 49,68 ans (ds : 19,88) avec un minimum et un maximum respectivement de 18 à 87 ans. Le genre a été contrôlé avec 30 femmes et 42 hommes ayant pris part à l'expérience. L'expérience a été réalisée le mercredi et le vendredi entre 10 h et 18 h. Le recrutement des participants a été effectué directement auprès des clients présents dans le supermarché lors de leur passage à proximité du stand de l'expérimentateur. Les participants ont reçu très peu d'informations lors du recrutement avant l'expérience. L'expérimentateur a seulement énoncé qu'il s'agissait d'une étude scientifique sur le comportement des clients dans le magasin. Ils ont été également informés que l'expérience était sans danger et qu'ils pouvaient arrêter l'expérience à tout moment. Les participants étaient volontaires pour participer à l'expérience et un consentement écrit a été recueilli pour chacun des participants à l'expérience.

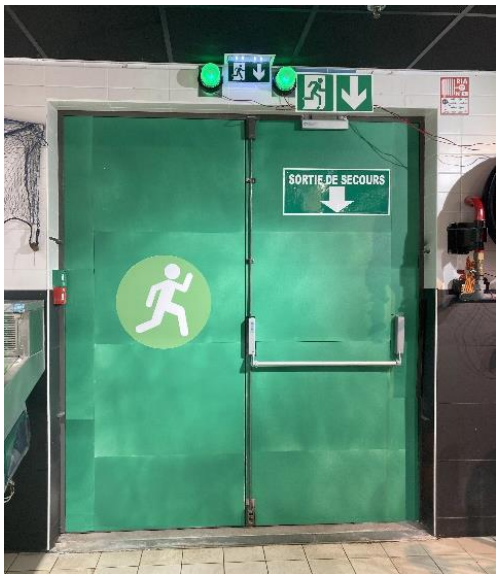
2.4.2. Matériel et méthode

Le système de guidage. Le système de guidage est identique au dispositif de l'expérience *Pain de Mie* (section 2.1.2).

Configuration de la zone de l'expérience. L'expérience *de la truite* a été réalisée dans le même rayon que les expériences *des Fruits et légumes* (section 2.2.2). Cependant, le visuel d'une des deux issues de secours utilisées dans l'expérience *des Fruits et Légumes* a été modifié dans l'expérience *de la truite* (Figure 22; Figure 23; Annexe H).

Figure 22

Illustration de la modification du visuel d'une issue de secours de l'expérience de la truite



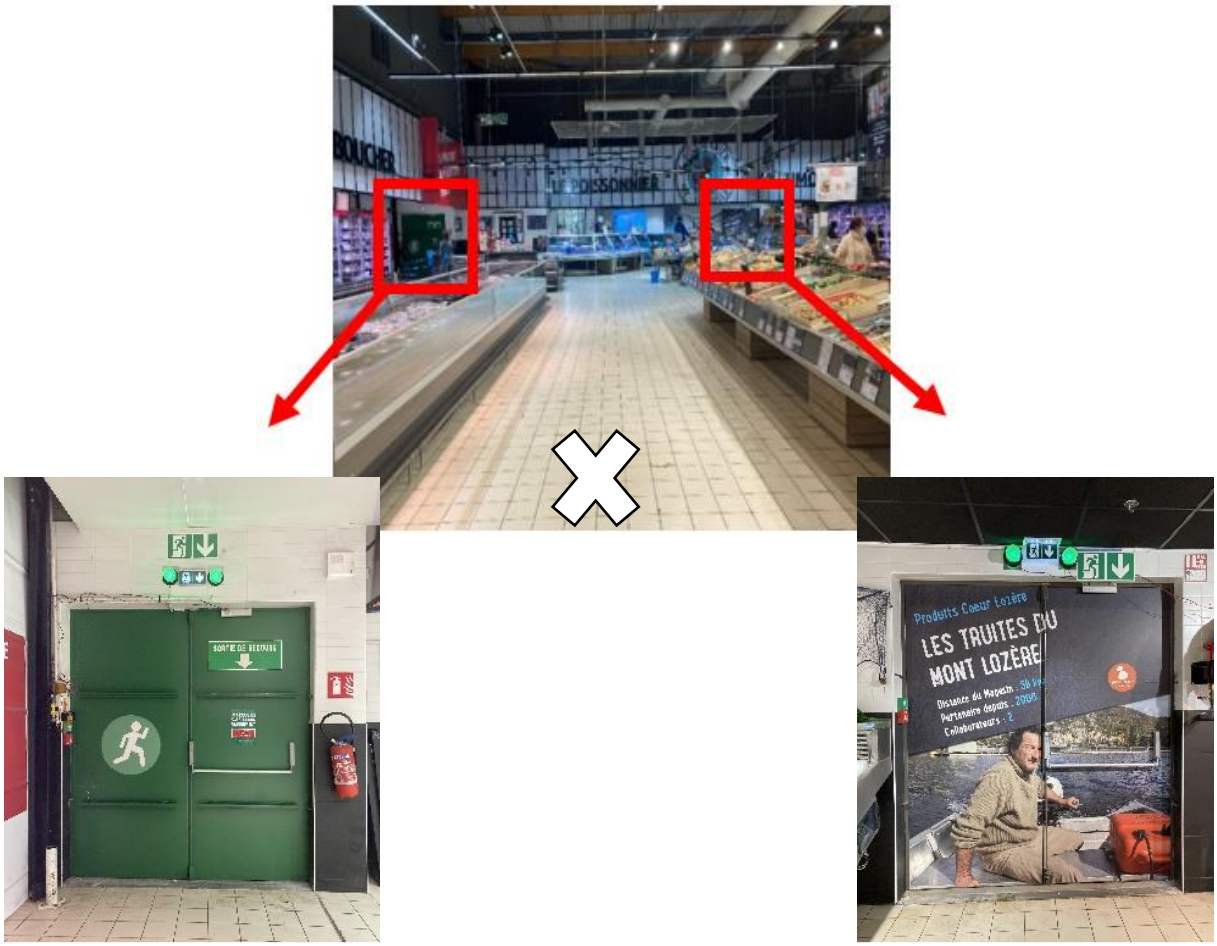
Issue de secours modifiée de l'expérience *des Fruits et Légumes*



Issue de secours d'origine

Figure 23

La zone utilisée dans l'expérience de la truite



Issue de secours

Issue de secours d'origine

Les conditions expérimentales. Les conditions expérimentales sont identiques à l'expérience *des Fruits et légumes* (section 2.2.2).

2.4.3. Procédure

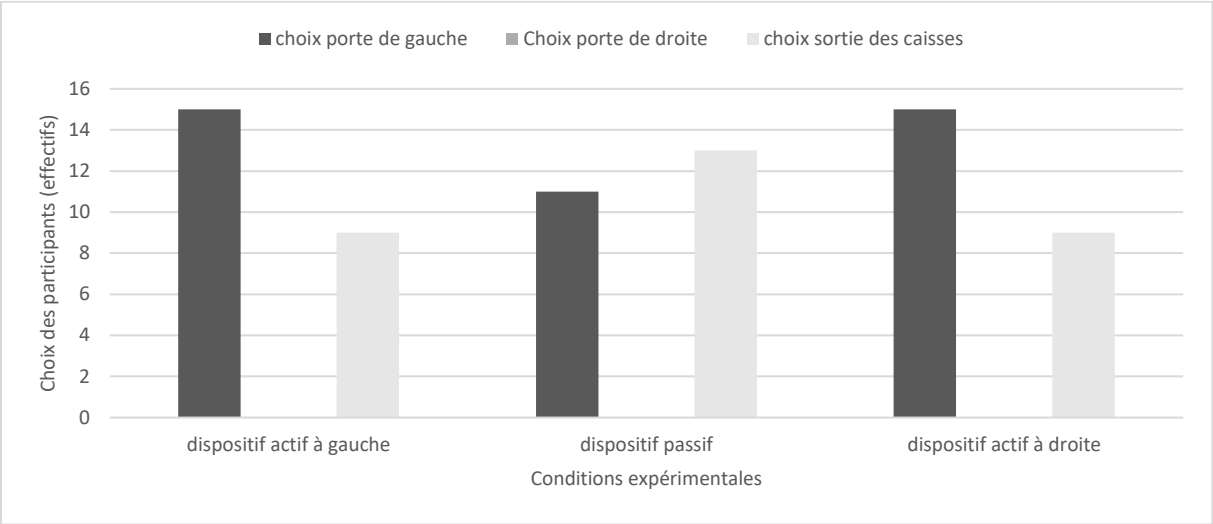
La procédure est identique à l'expérience *des Fruits et légumes modifiée* (section 2.3.3).

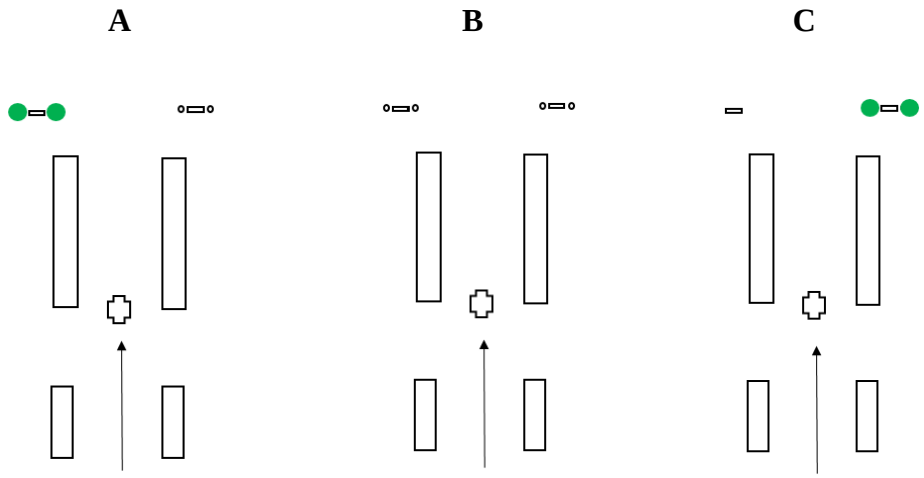
2.4.4. Résultats

L'ensemble des résultats se trouvent an annexe (Annexe I)

Figure 24

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif.





De manière descriptive, les participants empruntent majoritairement la porte de gauche pour évacuer, et ce pour l'ensemble de situations étudiées. Nous avons comparé les décisions des participants dans chacune des modalités expérimentales : clignotement à gauche [A] et à droite [C]) à la modalité contrôle (pas de clignotement [B]) :

- ***Actif à gauche versus dispositif Passif (A versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont

placés à gauche, choisissent la porte de gauche, que cette dernière clignote (n = 15, 93.75 %) ou pas (n = 11, 45.83 %).

– ***Actif à droite versus dispositif Passif (C versus B)*** : la présence ou l'absence de clignotement n'influence pas les décisions des participants. Ces derniers, dès lors qu'ils sont placés à gauche, choisissent toujours la porte de gauche, que la porte de droite clignote (n =15, 62.5 %) ou pas (n =11, 45.83 %).

En résumé, le dispositif s'avère inefficace. Les participants choisissent d'évacuer par l'issue de secours de gauche, que celle-ci soit active (à gauche comme à droite) ou inactive.

2.4.5. Conclusion

Comme nous le prédisions, les résultats de l'expérience *de la truite* montre que les clients privilégient de sortir majoritairement par la porte de gauche (que cette dernière clignote ou non), et que les participants ne se dirigent jamais vers la porte avec le visuel de la truite. Aucun des participants interrogés n'avait identifié la porte de sortie de secours avec le visuel modifié comme une issue de secours. Pourtant, hormis la publicité, le dispositif d'évaluation était totalement respecté (signalétique, hauteur, etc.).

2.5. Discussion des expériences comportementales

Dans la première expérience dite *du Pain de mie*, l'objectif était de tester la faisabilité du système de guidage de feux clignotants verts (dispositif actif), sa fonctionnalité dans un supermarché et son influence sur le choix des participants en fonction de leur position par rapport à la porte qui clignote (porte de droite ou gauche). Les résultats obtenus dans cette première expérience mettent en évidence l'efficacité du dispositif sur un choix binaire en fonction de la position du participant. Statistiquement, les participants choisissent la porte qui

clignote lorsque les participants sont placés au centre (entre les deux issues de secours) que la porte clignote à droite ou à gauche. Autrement dit, le dispositif de feux clignotants verts placé à côté du panneau rétroéclairé de sortie de secours améliore l'effet d'affordance cognitive nécessaire au choix des participants. Cet effet avait déjà été observé précédemment par Nilsson (2009) et avait été interprété comme une influence sur les possibilités d'interactions individu - environnement sur le comportement humain en situation d'évacuation (Nilsson, 2009). Cependant, le dispositif s'avère inefficace lorsque les participants sont placés à droite ou à gauche du rayon. Ces derniers se dirigent majoritairement par la sortie de secours la plus proche, qu'elle clignote ou pas.

Ensuite, les deux expériences dites *des Fruits et légumes* avaient pour objectif de tester l'influence du système de guidage avec des feux clignotants verts sur le choix des participants dans un environnement moins contrôlé et soumis à de nombreuses variations parasites (les participants pouvaient choisir d'évacuer par où ils le désiraient). Dans la deuxième expérience *des Fruits et légumes*, malgré l'équipement des deux issues de secours les plus proches de feux clignotants verts, les résultats sur l'influence du dispositif étaient ambigus. Bien que les participants aient eu tendance à choisir la porte de gauche lorsqu'elle clignotait, cela n'a pas été démontré lorsque la porte de droite était active. De plus, cette expérience apportait un résultat intéressant dans la mesure où les participants ont indiqué un choix de sortie vers les caisses malgré la présence potentielle d'une menace. Des résultats en cohérence avec les études antérieures qui montrent que des individus préfèrent se diriger vers les sorties familières parce qu'elles n'ont pas une idée globale de l'emplacement des issues de secours (Carattin, 2011; Frantzich, 2001; Shields et al., 2000). De plus, peu de participants ont semblé remarquer le dispositif de signalisation des issues de secours.

Une explication possible est que le dispositif n'offrait pas un contraste visuel suffisant et donc pas assez d'affordances sensorielles pour identifier l'issue de secours dans

l'environnement saturé d'informations visuelles. Nous relevons que cette explication n'était pas en cohérence avec les conclusions de l'expérience *Pain de mie* et des travaux de référence sur l'efficacité de la signalétique sur la détectabilité des issues de secours (Filippidis, 2021; Nilsson, 2009; Galéa, 2014; McClintock, 2001; Jin et al., 1991; Galéa et al., 2017, 2016).

Une autre explication possible était que la consigne puisse induire une réponse vers le familier « *Vous voulez sortir d'ici parce que vous voulez vous rendre dans un endroit sûr. Indiquez-moi votre direction de sortie ».* Afin d'explorer si la modification de l'environnement pouvait avoir un impact sur la prise de décision des participants, il nous a paru nécessaire de modifier la consigne dans une autre expérience. Conformément à notre hypothèse, dans l'expérience *des Fruits et légumes modifiée,* le dispositif s'est avéré efficace dans un environnement non contrôlé et complexe. Les participants ont choisi majoritairement d'évacuer par la porte qui clignote, qu'elle clignote à gauche ou à droite.

Cependant lors des deux expériences *des Fruits et légumes,* nous avons remarqué une certaine difficulté pour les clients des supermarchés de savoir si la sortie peut être utilisée en cas d'urgence. Afin d'explorer si un système de guidage avec des feux clignotants verts pouvait être efficace lorsque l'issue de secours présente une affordance sous-optimale, nous avons modifié le visuel d'une des deux issues de secours dans une autre expérience.

Dans la dernière expérience comportementale, l'expérience dite *de la truite,* les résultats obtenus suggèrent que la diminution de l'affordance cognitive entre l'individu et son environnement a un impact sur la fonctionnalité d'une issue de secours. Dit simplement, cela rend difficile pour les usagers des supermarchés de repérer visuellement l'issue de secours et par conséquent de comprendre que la sortie peut être utilisée en cas d'urgence.

En effet, les résultats apportent des conclusions en accord avec les travaux antérieurs : une signalisation inadaptée d'une issue de secours pourrait conduire à la création d'affordances qui rentrent en conflit les unes avec les autres (Carratin, 2016; Nilsson, 2009). Ainsi, le visuel

de paysage illustrant un pêcheur de truite en action sur une porte implantée dans la continuité du rayon poissonnerie apparait difficile à comprendre (affordance cognitive), difficile à remarquer, à voir, et à même lire (affordances sensorielles). Ce qui pourrait avoir pour conséquence que la porte n'est pas identifiée comme une sortie possible (affordance fonctionnelle). Cela suggère que l'affordance cognitive de l'issue de secours est affectée par le visuel qui peut la rendre difficile à comprendre et l'affordance fonctionnelle est affectée par le manque de possibilités d'actions à savoir si la porte peut permettre de sortir vers une zone sûre.

Ces conclusions sont en accord avec la théorie des affordances (Hartson, 2003) appliquée à la conception des issues de secours pour expliquer pourquoi certaines conceptions sont peu performantes (Carattin, 2015, 2016). En effet, si un système de signalisation est mal conçu, il peut conduire à la création d'affordances qui rentrent en conflit les unes avec les autres (Carratin, 2016; Nilsson, 2009). Comme par exemple, un panneau placé sur la porte qui indique de ne pas l'utiliser « *Ne pas ouvrir* », une gondole de produits placée devant la sortie ou encore des images publicitaires recouvrant la surface l'issue de secours peut conduire à ce qu'une issue de secours n'est plus une issue de secours.

En conclusion, il apparait possible que le dispositif expérimental (i.e., guidage actif) offre un support sensoriel suffisant pour engendrer une action utile et pertinente dans un contexte donné (Nilsson, 2009; Hartson, 2003). Comme cela a été souligné dans les recherches de référence (Carratin, 2016; Nilsson, 2009; Ronchi, 2015; Filippidis, 2021), cette conclusion suggère une proposition d'évolution de la conception des sorties des supermarchés en équipant les issues de secours de feux clignotants verts pour 1) briser la tendance vers les sorties familières 2) diriger les clients vers les sorties souhaitées et 3) éviter la menace. Des conclusions qui rejoignent la théorie de Norman (1999) : les affordances (c'est-à-dire les affordances physiques) spécifient l'éventail des activités possibles, mais les affordances ont peu d'utilité si

elles ne sont pas visibles par l'individu au sens sensoriel (détectable) et cognitif (compréhensible).

Dans le chapitre suivant (Chapitre 3), nous proposons de mettre à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle les affordances entre le sujet et son environnement modifient ses possibilités d'actions dans un contexte de modélisation de l'environnement du supermarché virtuel, de modélisation des caractéristiques et du comportement probabilistes des individus et de modélisation des interactions individus-environnement. Pour ce faire, nous présenterons une série de simulations informatiques, issue de l'intelligence artificielle basée sur les systèmes multi-agents (SMA), réalisées sur la base des résultats des expériences comportementales (Chapitre 2), des études observationnelles (Annexe J; Annexe K) et des études antérieures (Chapitre 1). Tout particulièrement, les *expériences de simulations informatiques* viseront à comparer les résultats de l'influence du guidage dynamique (i.e., feux clignotants) sur le choix de sortie lors d'une évacuation d'urgence avec une population plus importante (350 agents) dans l'environnement d'un supermarché virtuel (10 issues de secours et 3 sorties principales).

CHAPITRE 3

Simulations informatiques

L’objet de cette troisième partie est de modéliser, développer et visualiser les mouvements individuels des clients et des personnels lors d’une évacuation d’urgence dans un supermarché. Ce chapitre est organisé en trois parties.

Après une courte introduction, la deuxième partie du chapitre présentera notre approche de modélisation et de simulation issue de l’intelligence artificielle basée sur les systèmes multi-agents (SMA). La troisième partie sera consacrée aux expériences de simulations. Après avoir explicité la modélisation de l’environnement du supermarché virtuel et la modélisation des caractéristiques et du comportement probabilistes des individus, nous présenterons une série d’expérimentations de simulations. L’objectif sera de mettre à l’épreuve notre hypothèse selon laquelle les affordances entre le sujet et son environnement modifient ses possibilités d’actions.

Une réflexion clôturera ce chapitre sur ce qui implique une approche de modélisation et de simulation basée sur les systèmes multi-agents et son apport pour la compréhension des comportements, notamment ceux des individus en situation d’urgence dans l’environnement spécifique du supermarché.

Glossaire

Agent : Une entité logicielle ou physique à qui est attribuée une certaine mission qu'elle est capable d'accomplir de manière autonome et en coopération avec d'autres agents (Briot et al., 2001).

Cycle : un cycle de calcul marque le changement d'état, et est incrémenté d'un à chaque itération de calcul qui va donc faire évoluer globalement le système multi-agents (SMA). Il est sans unité du type ms ou min, sa valeur indique juste que l'on est actuellement à *n* itérations.

Expérimentation : Activité par laquelle, en fonction d'objectifs précis, et à l'aide d'un dispositif expérimental, on perturbe selon un protocole déterminé un système réel pour en comprendre le fonctionnement (Treuil et al., 2008).

Modèle à base d'agents : Tout modèle à base d'agents est un système composé d'entités multiples ou agents qui évoluent dans un environnement, conçu comme une entité particulière, dans lequel ils sont localisés. Ces agents sont dotés d'attributs, de comportements, et de capacités de perception et de communication. L'ensemble des valeurs des attributs d'une entité à un instant donné constitue l'état de cette entité, et la réunion de l'ensemble des états des entités forme l'état microscopique. Dit plus simplement l'état du système (Briot et al., 2001).

Modèle : Une construction abstraite qui permet de comprendre le fonctionnement d'un système de référence en répondant à une question qui le concerne. Représentation simplifiée de ce système, un modèle s'appuie sur une théorie générale et il est exprimé dans un langage spécifique appelé langage de modélisation (Treuil et al., 2008).

Modèles statiques et dynamiques : Un modèle est appelé statique quand il a pour propos la représentation de la structure d'un système de référence photographié à un instant donné, sans

allusion à son évolution dans le temps. Inversement, un modèle sera appelé dynamique quand il inclura dans sa représentation des hypothèses ou des règles concernant l'évolution dans le temps du système de référence (Treuil et al., 2008).

Modèles déterministes et stochastiques : Un modèle dynamique déterministe ne contient aucun paramètre dépendant du hasard. Inversement, un modèle stochastique disposera d'une ou plusieurs entrées ayant des valeurs comportant une part d'aléatoire (Treuil et al., 2008).

Simulation (définition complète) : La simulation est l'activité au cours de laquelle, selon un protocole et avec un objectif précis, on utilise un simulateur pour faire évoluer les entrées d'un modèle dynamique, l'exécuter, et en recueillir les sorties (Treuil et al., 2008).

Système multi-agents (SMA) : Un ensemble organisé d'agents. Dans un système multi-agents, il existe une ou plusieurs organisations qui structurent les règles de cohabitation et de travail collectif entre agents : définition des différents rôles, partages de ressources, dépendances entre tâches, protocoles de coordination, de résolution de conflits, etc. (Briot et al., 2001).

3. Introduction

Décider, c'est faire des choix parmi plusieurs options. Pour y parvenir, il faut évaluer les différentes options et élaborer un critère de choix. Dans les domaines de la psychologie, de la microéconomie, de la sociologie et de l'informatique, l'approche de la théorie de la rationalité limitée est largement utilisée dans le champ des sciences de la décision. Enracinée dans le texte fondateur de Simon (1957), la *théorie de la rationalité limitée* aborde la pluralité des formes de rationalité des comportements et permet de prendre en compte les comportements dans leurs dimensions d'adaptation aux contraintes. Ces processus ont surtout été étudiés à partir de modèles mathématiques et de l'étude de la prise de décision en économie (Meunier, 2016).

A titre d'exemple dans le domaine de la science économie, l'homo oeconomicus qui signifie homme économique en latin est une notion abstraite de la question du comportement humain. Traditionnellement, les analyses postulaient une rationalité absolue du comportement des individus. Dans le but de la maximisation du profit, *l'homme économique* est parfaitement et objectivement rationnel grâce à une connaissance préalable des actions possibles et des conséquences des actions avec des buts précis et stable et cela dans un système qui permet de sélectionner l'action optimale.

Les travaux de Simon (1957) sur la théorie de la rationalité limitée vont contester ces postulats sur plusieurs points dépendants de la limitation de la cognition humaine, de la diversité des individus, des capacités limitées en termes de mémoire et de conceptualisation ou encore des informations fluctuantes de la situation. L'approche de la théorie met en évidence que les informations et les capacités cognitives limitées ne permettent pas à l'individu d'optimiser ses choix. Si la notion de rationalité signifie une connexion entre les actions et les buts des individus qui maximiserait les chances de parvenir à un but fixé et du comportement, alors la rationalité serait limitée quand les individus n'atteignent pas le but fixé (Simon, 1957). Autrement dit,

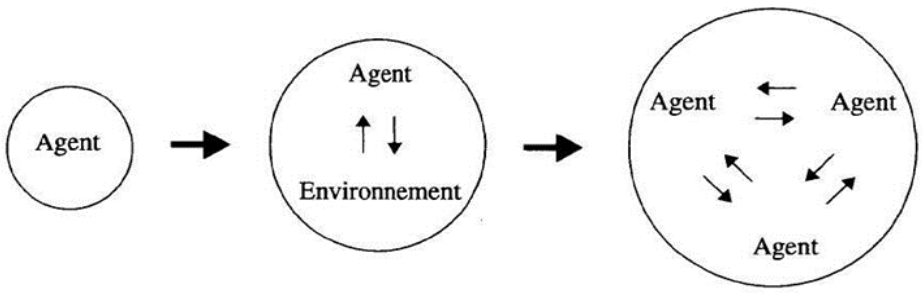
l'individu fait un choix satisfaisant compte tenu des informations dont il dispose pour réaliser une action.

3.1. La nouvelle conception de la théorie de la rationalité

Dans la continuité, Laville (2000) défend une conception nouvelle de la rationalité qui prend racine dans les sciences cognitives. Partant des concepts de l'action située et de la cognition distribuée, l'auteur propose de renouveler la conception économique de la rationalité limitée (Simon, 1957) et d'envisager les ressources cognitives de l'environnement comme une complémentarité systématique des capacités cognitives des « agents ». Pour ce faire, la théorie de la rationalité limitée propose d'envisager la prise de décision par une double analyse successive : 1) analyse de l'étude de l'interaction d'un agent avec son environnement (action située), 2) analyse de l'étude de la répartition cognitive à l'intérieur du groupe d'agents (cognition distribuée).

Figure 25

Double élargissement de l'unité d'analyse (emprunté de Laville 2000)



Dit simplement, si un individu dont les capacités cognitives sont limitées (rationalité limitée) peut atteindre ses fins dans un environnement complexe, c'est parce que 1) ses ressources cognitives ne sont pas qu'en lui, mais aussi situées dans l'environnement et 2) projetées collectivement c'est-à-dire sur les autres individus. En accord avec la théorie de la rationalité limitée, nous défendons dans ce travail de thèse que ce n'est pas l'individu qui prend

la décision, mais la décision qui prend l'individu. En effet, si les processus de contrôle et de décision peuvent être étudiés indépendamment, de plus en plus de recherches montrent que la prise de décision est, d'une part, en interaction avec d'autres processus et, d'autre part, finalisée par les objectifs et les contraintes de la situation (Meunier, 2016).

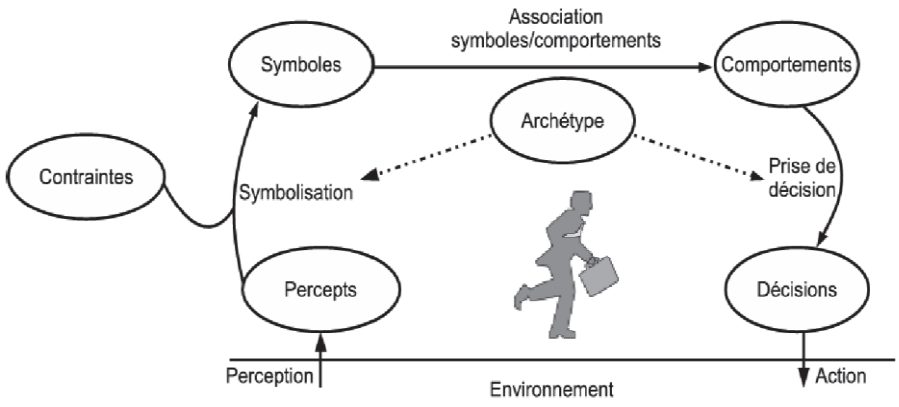
3.2. La simulation informatique du comportement humain

Comme nous l'avons vu précédemment, la théorie de la rationalité permet d'envisager l'individu en interaction avec son environnement et avec les autres pour atteindre un objectif. En effet, la limitation de la rationalité humaine fait que la prise de décision émerge au sein du groupe différemment même si les individus disposent du même archétype comportemental individuel et des mêmes informations portées par l'environnement (Laville, 2000).

Appliqués à la simulation informatique, les travaux de Valentin (2012, 2013) ont proposé un modèle de simulation microscopique basé sur la décision située du comportement humain. Dans le modèle de décision sous contrainte proposé, l'individu dit agent situé est utilisé pour atteindre un objectif en prenant en compte les diverses contraintes de mouvement imposées à l'agent par l'environnement (Figure 26).

Figure 26

Vue générale du modèle de décision sous contraintes (emprunté à Valentin, 2013)



Par exemple, le terme *percepts* désigne les éléments bruts acquis par le système de perception (mur, autre agent…) et le terme *contrainte*s représente une limitation dans le déplacement (i.e., un mur à contourner). Le terme *symbolisation* se traduit par la manipulation des comportements appliqués aux *percepts* et aux *symboles* permettant par exemple de représenter la contrainte d'espace vital entre les agents et les murs. Dans l'objectif de focaliser la décision de l'individu sur une *décision située*, le modèle de décision sous contrainte propose d'associer les symboles et les comportements. Les *comportements* sont définis comme une procédure de traitement qui utilise l'ensemble des symboles i.e., l'environnement ou les autres agents pour atteindre un but. Ainsi, la prise de décision consiste à déclencher les différents comportements et donc plusieurs décisions possibles. Dans ce modèle, l'action de l'agent dans son environnement est représentée par son déplacement dans l'espace virtuel (Valentin, 2013).

3.3. La modélisation du comportement humain en situation d'urgence

Afin de visualiser les mouvements individuels des individus d'une foule en situation d'évacuation d'urgence d'un bâtiment, nous proposons dans ce travail d'utiliser la modélisation informatique largement développée dans de nombreux domaines scientifiques depuis les années 1970. Les pratiques de modélisation et de simulation ont en commun « le fait de représenter de façon explicite les identités et leurs comportements sous une forme informatique et d'étudier, grâce à la puissance qu'offrent les ordinateurs actuels, les structures émergentes qui naissent, in silico, de leurs interactions virtuelles » (Treuil et al., 2008).

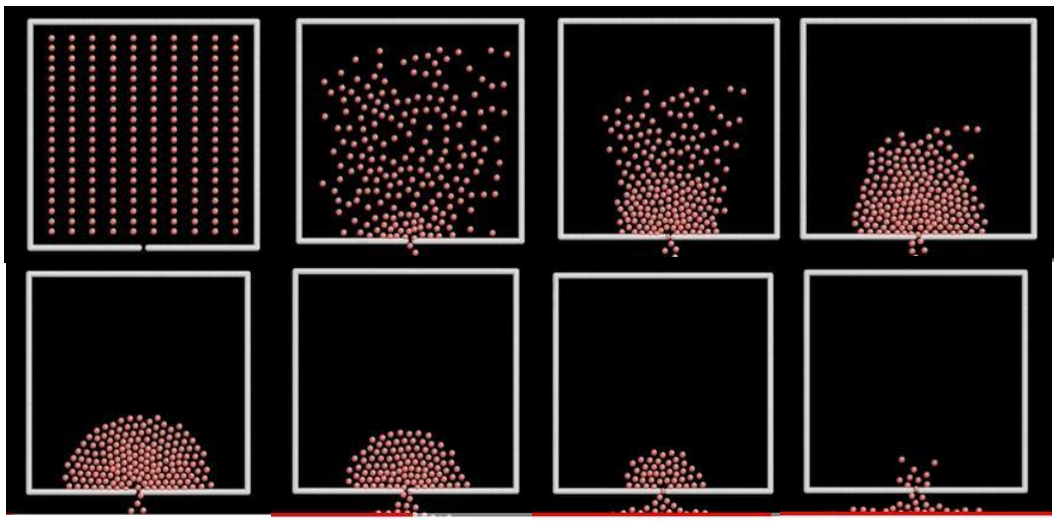
Dans cette optique, la modélisation permet de caractériser les propriétés d'un système afin de comprendre comment les propriétés émergent du jeu des interactions entre ses composants (Treuil et al., 2008). Par exemple, l'implémentation des formulations de la rationalité limitée et de la prise de décision sous contrainte d'un individu en interaction avec l'environnement et en interaction avec les autres individus (Simon, 1957; Laville, 2000; Valentin, 2013). Nous attendons que le modèle microscopique intègre plusieurs propriétés

intrinsèques à chaque individu qui lui permettront de développer sa propre stratégie d'évacuation. L'objectif est, ainsi, d'implémenter un modèle flexible du comportement de l'individu dans un logiciel permettant la simulation et la visualisation de l'évacuation des individus lors d'une évacuation d'urgence d'un bâtiment.

Dans ce contexte, nous proposons d'utiliser les outils informatiques existants de simulation et de modélisation du comportement humain en intégrant la simulation microscopique qui vise à modéliser les archétypes comportementaux individuels en situation d'évacuation et la simulation macroscopique qui s'intéressera quant à elle aux comportements de foules que nous postulons différents des premiers. En effet, nous postulons que le comportement de la foule sera une émergence de l'ensemble des comportements individuels, mais possédant des propriétés et lois propres non réductibles à la somme de comportements microscopiques (Figure 27).

Figure 27

Exemple d'une simulation microscopique d'une évacuation d'urgence (Agent-based modeling of building emergency evacuation - One room emprunté à Ha et al., 2012)



3.4. Modélisation et simulation des expériences : vers une possible virtualisation réutilisable et paramétrable au moyen d'un Système Multi-Agents

Plusieurs phénomènes, dont le choix d'une sortie plutôt qu'une autre, et plusieurs caractéristiques comportementales des personnes devant faire face à une évacuation, ont émergé des expériences comportementales et des théories précédemment décrites. Cependant, ces expérimentations s'avèrent souvent coûteuses, monopolisent plusieurs ressources humaines et techniques, dont une zone plus ou moins grande du supermarché mobilisé à cet effet, et sont globalement difficiles à mettre en place.

Face à ces freins, nous proposons ici d'utiliser la modélisation et la simulation pour compléter ces expérimentations en menant à bien un travail en laboratoire. Cette modélisation consiste à établir une représentation de la réalité terrain jugée suffisamment réaliste, crédible et plausible et suffisamment détaillée pour répondre aux attentes des études. Il s'agit ici donc, dans un premier temps, de modéliser le supermarché dans ses dimensions, caractéristiques, organisations des zones commerciales et de caisses, des sorties, des zones de passage, des dispositifs de guidage vers ces sorties, etc. Il s'agit ensuite de paramétrer cette modélisation en précisant différentes caractéristiques précisant la configuration du supermarché pour étudier le scénario d'évacuation. Il peut s'agir par exemple, de préciser : nombre et âge des clients, capacité de chacun à la mobilité et à la perception, niveau de stress, nombre et niveau de connaissance des personnels, nombre, nature et dimensions des obstacles fixes ou mouvants (e.g., caddies abandonnés). Le modèle ainsi paramétré du supermarché doit pouvoir enfin être exécuté pour simuler, visualiser et générer des résultats en se concentrant sur les facteurs effectivement mesurés ou évalués lors des expérimentations. Cette simulation vise en particulier à reproduire les processus décisionnels et donc les comportements, les interactions et les phénomènes observés dans la réalité.

Le problème est donc globalement :

1. d'arriver à justifier d'un niveau de réalisme et de complétude nécessaire et suffisant de la situation d'évacuation telle qu'elle est modélisée (i.e., virtualisée). En particulier, cette modélisation et ces différents paramétrages doivent implémenter les mécanismes d'interaction que nous précise la théorie des affordances pour capturer l'interaction dynamique individu-environnement, i. e. représenter correctement les interactions entre les individus ou groupes d'individus (Lin, 2020; Laville, 2000; Tajfel et Turner, 1979; Cialdini, 1993, 2001; Nilsson et Johansson, 2009; Quarantelli, 1954; Janis, 1957) et leur environnement (Hartson, 2003; Gibson, 1977; Laville, 2000; Simon, 1957; Nilsson, 2009);
2. de faciliter et de multiplier les simulations vues alors comme des expérimentations virtuelles et en temps limité en donnant accès à l'utilisateur à une visualisation d'ensemble facilitant l'observation et l'analyse;
3. d'offrir la possibilité de diversifier si nécessaire ces expérimentations par un paramétrage adéquat;
4. de s'assurer globalement de la répétabilité des simulations et des paramétrages, de la précision et de la stabilité des résultats pour, finalement, produire des séries de résultats supplémentaires sans mobiliser des expérimentations réelles.

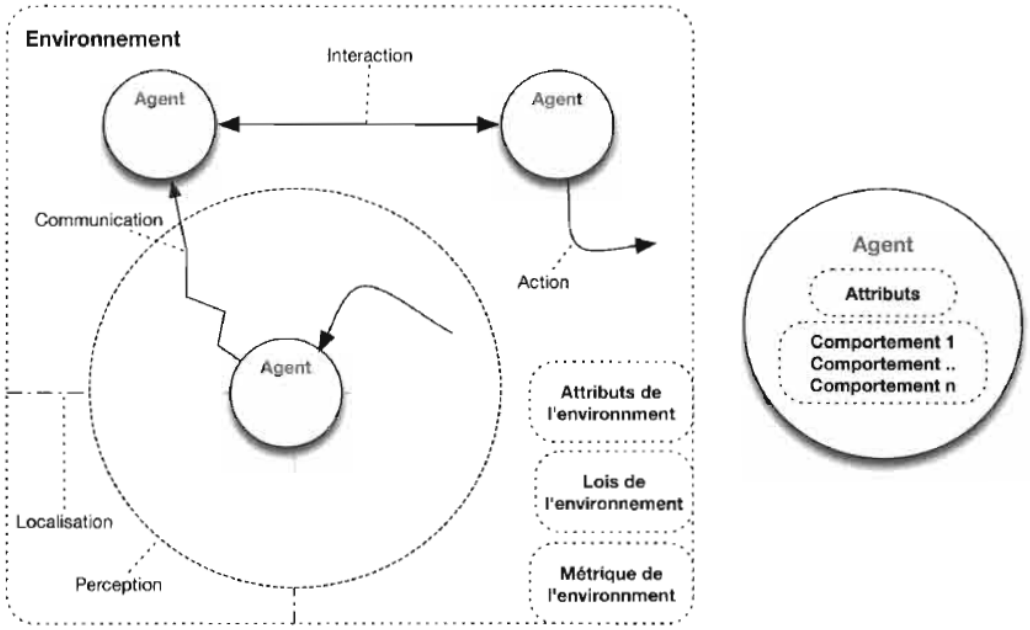
Le modèle de modélisation et de simulation proposé

Nous nous orientons pour cela vers une approche de modélisation et de simulation issue de l'Intelligence Artificielle et connue depuis les années 80, basée sur les Systèmes Multi-Agents (SMA). Le modèle à base d'agents est défini comme un système composé d'identités multiples ou agents qui évoluent dans un environnement (conçu comme une identité

particulière) et dotés d'attributs, de comportements et de capacités de perception et de communication (Treuil et al., 2008; Figure 28).

Figure 28

Une représentation simplifiée d'un modèle à base d'agents (emprunté à Treuil et al., 2008)



De plus, ce qui nous intéresse dans l'utilisation des systèmes multi-agents est « les possibilités d'articuler l'individuel au collectif par l'intermédiaire de la structure cognitive des agents » (Ferber, 1997, p. 3). Et plus particulièrement, notre intérêt dans ce travail porte sur « une conception d'action collective des SMA qui met l'accent sur les structures d'interactions (coopération, négociations, coordination d'actions, conflits, etc.) et sur les organisations qui en découlent (rôles, hiérarchies d'autorités, etc.) » (Ferber, 1997, p. 4).

4. Méthode

Un système multi-agents (SMA) nécessite de modéliser sous forme d'agents des éléments présents dans le supermarché, des personnes, des rayonnages, des portes, ou encore

des obstacles pouvant gêner l'évacuation. De fait, l'environnement est limité et lui-même modélisé comme étant le théâtre des opérations dans lequel les agents vont opérer, décider et agir. Chaque élément est donc conceptualisé dans cette approche SMA comme un agent autonome, c'est-à-dire une entité conceptuelle :

a. L'agent possède un comportement propre traduisant, par exemple, les conditions de la prise de décision et les réactions attendues (ex : se déplacer, se cacher, aider une personne, ouvrir une porte…) dans le cas d'un acteur humain soumis à des influences (affordances) diverses, ou le comportement plutôt déterministe dans le cas d'un objet technique comme une porte ou un obstacle. En d'autres termes, un agent possède un comportement modélisant comment il peut agir et interagir avec tous les autres agents. Cette modélisation doit donc correspondre à un niveau de détail suffisant pour reproduire les mouvements et réactions individuelles observés dans les études expérimentales (Chapitre 1) et les études observationnelles (Annexe J ; Annexe K) de notre travail de thèse. Ils sont donc souvent conditionnés, par exemple marcher seulement si…, changer de direction dans le cas où…, se baisser pour se cacher temporairement ou emprunter une issue de secours qui s'avère ouverte;
b. L'agent possède des caractéristiques propres (attributs et propriétés) et différenciantes jugées essentielles et suffisantes, là aussi pour atteindre un niveau de détail pertinent pour arriver à représenter globalement la situation dans le supermarché. Par exemple, leurs capacités à la mobilité, la vision plus ou moins lointaine selon leur âge ou/et différents degrés de capacités à percevoir et interpréter des choses et des objets autour d'eux.

Les agents évoqués ici représentent donc :

a. les personnes (clients ou personnel) présentes dans le magasin qui perçoivent et évaluent leur environnement, interagissent les uns avec les autres et prennent des décisions en fonction des priorités ou comportements prédéfinis,
b. les objets tapissant l'environnement (i.e., le supermarché), avec lesquels les personnes vont nécessairement interagir durant leur évacuation (obstacles, portes, rayonnages, allées…). Ils possèdent des caractéristiques et des comportements déterministes puisqu'ils changent d'état en interagissant avec des personnes comme par exemple ouvrir et fermer une porte.

Le passage à la simulation consistera alors à :

- Instancier ces agents, c'est-à-dire à créer des agents virtualisant chacun une personne ou un objet mobile ou immobile, et à les paramétrer en fonction du scénario à étudier : nombre de clients, répartition des clients par classes d'âge, nombre de groupes de clients, etc.
- À exécuter les comportements ainsi paramétrés en suivant les principes mêmes d'un système multi-agents qui ne seront pas détaillés ici.

L'objectif de ce travail était de mettre en adéquation les attentes essentielles auxquelles répondent un SMA et nos attentes :

- Une simulation massivement parallèle permettant de donner une vision globale de l'évolution de l'état du supermarché à tout moment en faisant évoluer les agents pris séparément les uns des autres,
- Des mécanismes de synchronisation lors d'interactions nécessaires entre des agents afin de faciliter la collecte et l'analyse des résultats. Par exemple, une porte apparait dans la zone de vision d'une personne, gestion centralisée du temps, possibilité de tracer toute exécution globalement ou agent par agent…

En effet, l'algorithme d'exécution du comportement de chaque agent consiste :

- Lire les informations venant de l'environnement de l'agent et donc issues d'interactions dynamiques avec ces autres agents ou liées à des événements venant de cet environnement lui-même (i.e., bruits, odeurs),
- interpréter ces informations ou événements et la prise de décision précisant comment doit réagir l'élément,
- appliquer des actions décidées et retour éventuel d'informations ou d'autres événements vers son environnement tapissé des autres agents.

Chaque élément calcule donc son état futur de manière autonome i.e., indépendamment des décisions et interprétations des autres éléments présents, en fonction de la situation perçue de son environnement et de ses caractéristiques (attributs et propriétés) qui évoluent elles aussi. Cette exécution n'est donc pas contrôlée par un dispositif centralisé et ne suit pas un scénario ni un déroulement déterministe par nature.

Nous nous inspirons de fait ici d'un algorithme d'évolution basé sur l'extension d'un profil Believe-Desire-Intention (BDI) assez classique en SMA, baptisé BEN[1] (Behavior with Emotions and Norms qui « fournit aux agents sociaux la cognition, les émotions, la contagion émotionnelle, la personnalité, les relations sociales et les normes » (Bourgais, 2018).
Plusieurs simulations successives, menées avec des conditions initiales identiques, peuvent donc amener à des observations différentes considérées pourtant comme plausibles et crédibles si les hypothèses de réalisme et de fidélité de la modélisation sont vérifiées. Cette simulation permet donc d'observer de manière dynamique les effets du comportement et des interactions de chaque élément lorsqu'il est en contact avec les autres éléments.

Il peut s'agir par exemple de la perception par une personne d'un clignotement situé au-dessus d'une porte située à proximité de sa position à l'instant *t,* clignotement qui peut influencer sa décision propre d'emprunter ou pas cette issue. Cette prise de décision respecte

[1] Voir https://gama-platform.org/wiki/Using-BEN-simple-bdi

pour cela des règles bâties statistiquement sur les résultats des expérimentations comportementales précédemment cités ou issus de la littérature récente. Par exemple, il est possible de préciser dans le comportement d'un client que 71 % de ces personnes préfèrent utiliser l'issue par laquelle elles sont rentrées dans le supermarché et restent souvent insensibles à toute autre information (Frantzich, 2001).

Cette simulation permet aussi de constater visuellement des phénomènes et des comportements collectifs émergents pouvant être éventuellement imprévisibles, mais importants pour l'analyse dans le cas de notre étude. À titre d'exemple, le choix de sortie dépend principalement : des conditions de visibilité pendant l'évacuation (Cao, 2018), de la trajectoire de l'attaquant en effet plutôt que de chercher la sortie la plus proche, le but premier des individus est de garder une distance de sécurité avec l'attaquant (Ding, 2021), ou encore l'influence des systèmes de signalisation c.-à-d. la visibilité de la signalisation et l'interaction entre les individus et la signalisation. (Filippidis, 2021).

4.1. Mise en œuvre

L'environnement multi-agents que nous avons choisi pour la modélisation et la simulation est la plateforme open source GAMA[2]. Pour cette étude, la version 1.8.2 de GAMA a été mise en œuvre sur PC sous Windows 7 Professionnel. La collecte des données des simulations est contrôlée par ailleurs.

Le choix de cette plateforme est basé sur la richesse et la finesse de modélisation des comportements des agents qu'elle permet (profil BEN évoqué plus haut), l'environnement de développement et de débogage qu'elle fournit, et l'intuitivité relative de l'environnement de simulation/visualisation/traçage des résultats. Notons enfin que cette plateforme est de plus interopérable avec un environnement autorisant la visualisation 3D voire la simulation

[2] Voir www.gama.org.

immersive comme Unity[3]. Cette possibilité ouvre plusieurs perspectives d'évolution de ces travaux pour, par exemple, servir de support de formation pour mettre les personnels en situation virtuelle, mais suffisamment réaliste (Chapurlat, 2020).

GAMA n'est pas conçu spécifiquement pour simuler un processus d'évacuation. Toutefois, de nombreux travaux s'orientent cependant vers GAMA pour modéliser les mouvements de piétons (Prochazka, 2015), l'évacuation d'un amphithéâtre (Zhang, 2017), l'évacuation d'urgence de bâtiments (Macatulad, 2019; Manalii, 2020; Kasereka, 2018) ou encore de l'évacuation de foule (Pan, 2007). GAMA est de fait choisi ici comme un outil de modélisation et de simulation permettant d'étudier des comportements observables dans des situations d'évacuation réelles telles que des comportements de fuite, les comportements compétitifs, la formation de file devant les sorties et même l'apparition de comportements grégaires (Abdelhak, 2013; Zhang, 2017).

Nous avons procédé par phase pour aborder la modélisation puis la simulation (calcul des comportements des agents et visualisation globale des résultats de leurs décisions et actions, telles que leurs déplacements dans le supermarché) comme suit :

4.2. Modélisation de l'environnement i.e., du supermarché

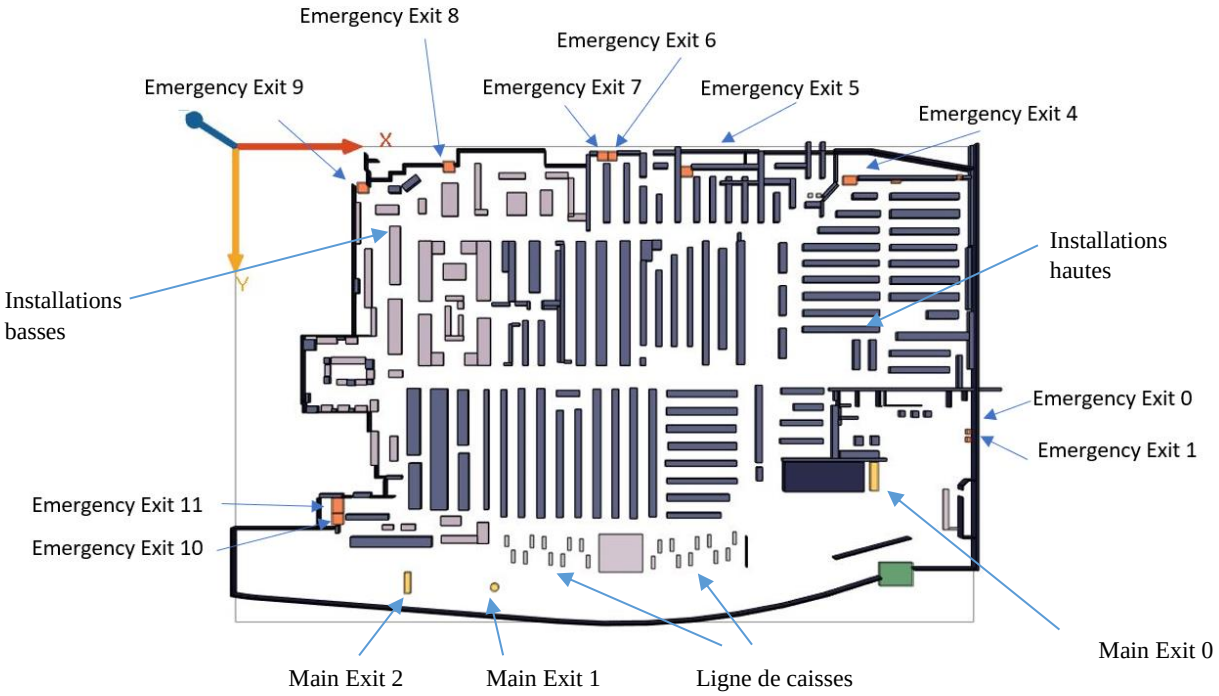
La modélisation de l'évacuation utilisée a été basée sur des agents afin d'explorer l'impact potentiel de la signalisation des issues de secours sur l'efficacité d'évacuation dans une géométrie complexe. La géométrie choisie consistait en un supermarché réel : 10 issues de secours, 3 entrée/sorties principales et l'ensemble des installations spécifiques au supermarché. La modélisation de l'environnement du supermarché consiste à préciser diverses zones (rayons, caisses, réserves…), leurs dimensions, l'emplacement des portes, des obstacles éventuels, des

[3] Voir https://unity.com/

clients et du personnel à l'instant initial de la simulation et des chemins possibles pour les déplacements de toutes les personnes (Figure 29).

Figure 29

L'environnement virtuel du supermarché utilisé dans la simulation multi-agents incluant les installations basses (en bleu clair) et des installations hautes (en bleu foncé), les issues de secours (en orange) et l'entrée principale (en vert).



4.3. Modélisation des caractéristiques et du comportement probabiliste des personnes selon qu'elles sont des clients, des membres du personnel ou des terroristes.

La modélisation du comportement humain permet d'intégrer certaines propriétés physiques, psychologiques et cognitives. Le comportement de l'agent a été défini comme un agent indépendant avec des caractéristiques différentes telles que l'âge et le genre, et aussi, le temps de pré-mouvement (Ding, 2021), la vitesse de déplacement (Ding, 2021), la distance de vision (Abdelhak, 2013), différents types de relations entre agents (Hassanpour, 2021; Helbing, 1995, 2005; Huo, 2016; Jones, 2009; Lin, 2020; Ma, 2017) et l'interaction avec l'environnement (Nilsson, 2009; Kinateder, 2019; Kunzer, 2016; Gibson, 1977). Ainsi,

l'approche multi-agents permet aussi de simuler le processus de prise de décision en tenant compte des facteurs environnementaux.

La formalisation des règles de comportements des agents repose sur 1) la modélisation du comportement humain et des comportements humain/humain, 2) la modélisation du comportement des objets de l'environnement et des comportements d'interaction humain/environnement. Les figures suivantes illustrent quelques-unes des actions prises en compte durant cette étude (Figure 30; Figure 31).

Figure 30

Agents représentés avec les interactions Humain-Environnement avec élément de l'environnement haut et élément de l'environnement bas

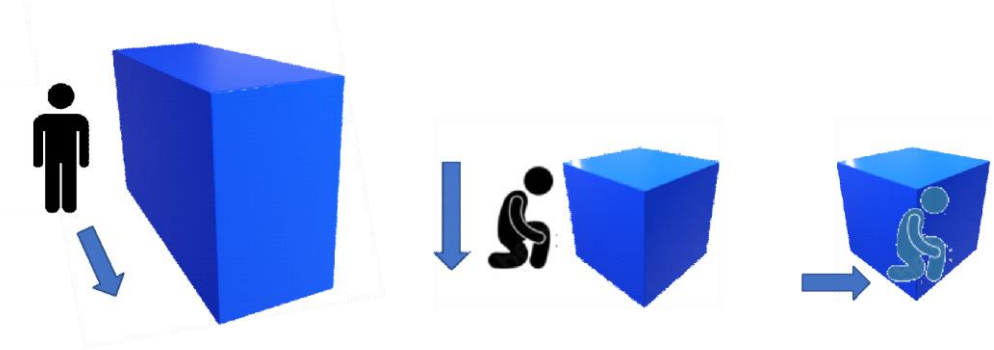


Figure 31

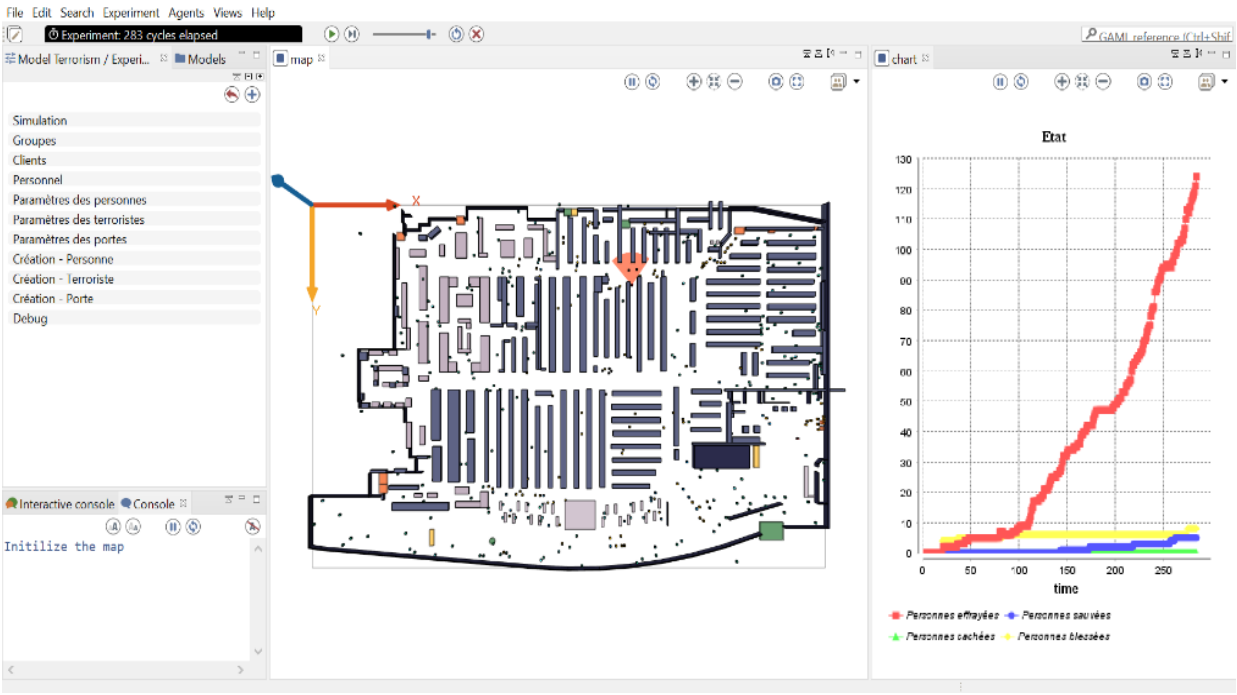
Démonstration des Agents représentés avec les interactions Humain-Environnement avec élément de l'environnement haut et élément de l'environnement bas

4.4. Paramétrage de la simulation

Le paramétrage initial est bien entendu modifiable selon les besoins de la simulation. Ces modifications sont permises par la plateforme GAMA via une interface spécifique (Figure 32).

Figure 32

Interface de paramétrisation sous GAMA



Cette interface permet donc le paramétrage du nombre de clients, de membres du personnel et de terroristes à chaque expérience (Tableau 3).

Tableau 3

Répartition de la population des agents générés dans l'environnement virtuel

	Nombre	Répartition âge	Répartition genre	Répartition groupe	Nombre de groupe	Scénario
clients	50	18-25	Homme	Groupe de 2	90	1 2 3 4
	50	18-25	Femme	Groupe de 3	27	1 2 3 4
	50	25-55	Homme	Groupe de 4	8	1 2 3 4
	50	25-55	Femme	Groupe de 5	2	1 2 3 4
	50	+ 55	Homme	7		3 4
	50	+ 55	Femme	7		3 4
Personnel	25	18-55	Homme	28		3 4
	25	18-55	Femme	32		3 4
Total agents	350					

a) Paramétrage des agents

L'interface utilisée permet aussi un paramétrage du comportement de clients, de membres du personnel et de terroristes à chaque expérience. Il est à noter que pour tous les agents : la vision des agents est un cône de 10 mètres sur 60° et la communication entre agents est de 1 mètre.

b) Paramétrage des agents « client »

Les agents « client » sont définis par leur vitesse de marche (répartition normale | moyenne : 1,41 m/s | Écart-type : 0,37 m/s). Les agents « client » possèdent plusieurs comportements :

- Marcher dans le magasin (faire leurs courses) : ils s'avancent, parfois s'arrêtent un moment (pour prendre un article…)

- Fuir : chercher une porte de sortie, courir (leur vitesse est doublée), se baisser quand ils sont proches d'un élément bas, avertir les personnes à proximité de la menace. La communication entre agents « clients » informe de l'emplacement des portes repérées à proximité
- Fuir vers la sortie : s'ils connaissent une issue, ils se rendent vers la sortie. Autrement, le déplacement est libre tant que l'agent ne rencontre pas d'obstacle. Lors du déplacement de fuite, l'agent se baisse pour se cacher, s'abriter ou ramper au niveau des éléments bas. Ces comportements en interaction avec l'environnement diminuent sa vitesse de déplacement et augmente son temps de sortie totale

c) Paramétrage des agents « staff »

Les agents « staff » sont paramétrés pour réaliser des actions réalistes dans l'environnement du supermarché en cas d'urgence : guider les agents « clients » vers la sortie la plus proche et ouvrir les issues de secours. Ainsi, les 10 issues de secours de l'environnement virtuel sont fermées par défaut et ne peuvent être ouvertes que par les membres du personnel (le paramétrage est d'agents « staff » ayant reçu une formation est de 30 %). Sur les agents « staff » concernés, la moitié connait le fonctionnement de l'ouverture des issues de secours. Ces données ont été déterminées par une étude auprès du personnel du magasin sur l'influence de la formation sur les performances d'ouverture des issues de secours (Annexe K).

Concernant le débit d'évacuation, les issues ne laissent passer qu'un certain nombre de personnes à la fois (2 agents). Les autres doivent attendre que les premiers passent pour pouvoir passer.

d) Paramétrage des agents « terroriste »

L'agent « terroriste » est en déplacement aléatoire. Le nombre de personnes pouvant être blessées est paramétré de 7 agents « victimes ». La sélection des agents « victimes » blessés par

l'agent « terroriste » est aléatoire selon sa trajectoire. L'agent « terroriste » possède 20 % de chance de rater à chaque tentative de blesser un agent. Les agents cachés ou baissés derrière un élément bas ne sont pas visibles par l'agent « terroriste ».

5. Simulations et résultats

5.1. Procédure de lancement d'une simulation

Au début de la simulation, les agents sont générés aléatoirement dans le supermarché. Après le lancement de l'environnement de simulation pendant 100 cycles, un agent « terroriste » est introduit en position : x = 7060; y = 3911.

Lors de la perception du danger ou de la réception de l'information d'un danger, les agents commencent à évacuer vers les sorties du supermarché. La simulation est arrêtée jusqu'à la sortie de la totalité des agents. Le temps nécessaire à l'évacuation est déterminant dans notre étude. Dans l'objectif d'identification des comportements de l'évacuation des individus, nous étudierons la mesure du temps d'évacuation. Celle-ci est mesurée sur la base du temps enregistré pour l'évacuation des agents qui inclut la sélection du chemin d'évacuation et la sortie utilisée. Des simulations différentes sont donc paramétrées et lancées pour observer l'influence des feux clignotants sur le choix de sortie. Les résultats ont été étudiés en fonction des facteurs principaux à savoir le facteur temps et le facteur de la sortie utilisée pour l'évacuation du supermarché. En tenant compte du comportement stochastique des agents dans la prise de décision du choix de sortie, la simulation a consisté à simuler 4 scénarios de paramétrage (Tableau 4). Chaque scénario a été exécuté 10 fois pour évaluer les indicateurs suivants : le choix de sortie et le temps total de sortie (Edrisi, 2021).

Tableau 4

Les différents scénarios d'évacuation

Scénario	Description	Type de signalétique
Base	Un scénario de base sans utilisation de la signalisation, les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales et les utilisent pendant l'évacuation.	Conventionnel
Sortie la plus proche	Un scénario idéal dans lequel tous les agents « clients » connaissent toutes les sorties : sorties principales (1, 2, 3) et issues de secours (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) et utilisent donc la sortie la plus proche pendant l'évacuation.	Conventionnel
Guidage par le personnel	Au départ, les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales, mais pendant l'évacuation, s'ils rencontrent des agents « staff », ils peuvent choisir de les suivre et d'utiliser les issues de secours.	Conventionnel
Signalisation dynamique	Signalisation dynamique des sorties de secours, 10, 9, 7, 5, 0 (Fig. 47). Au départ, les agents ne connaissent que les sorties principales, mais pendant l'évacuation, s'ils détectent des feux clignotants au-dessus d'une sortie de secours, ils peuvent choisir d'utiliser cette sortie.	Dynamique

Figure 33

Répartition des « EmergencyExit » dans l'environnement virtuel du supermarché utilisé dans la simulation multi-agents

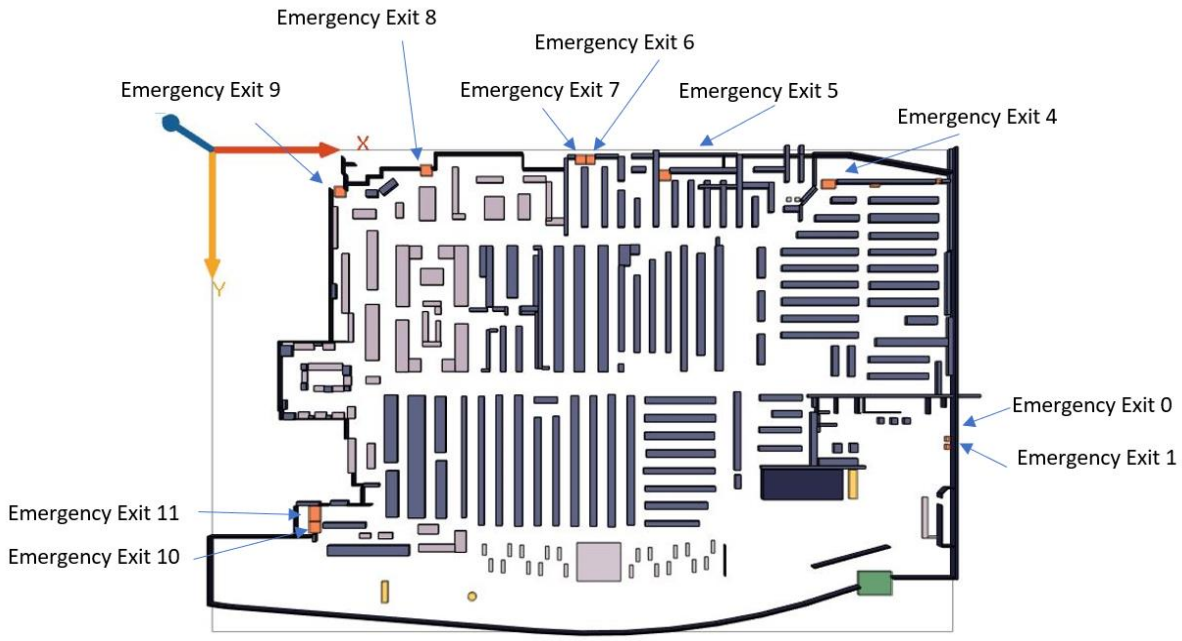
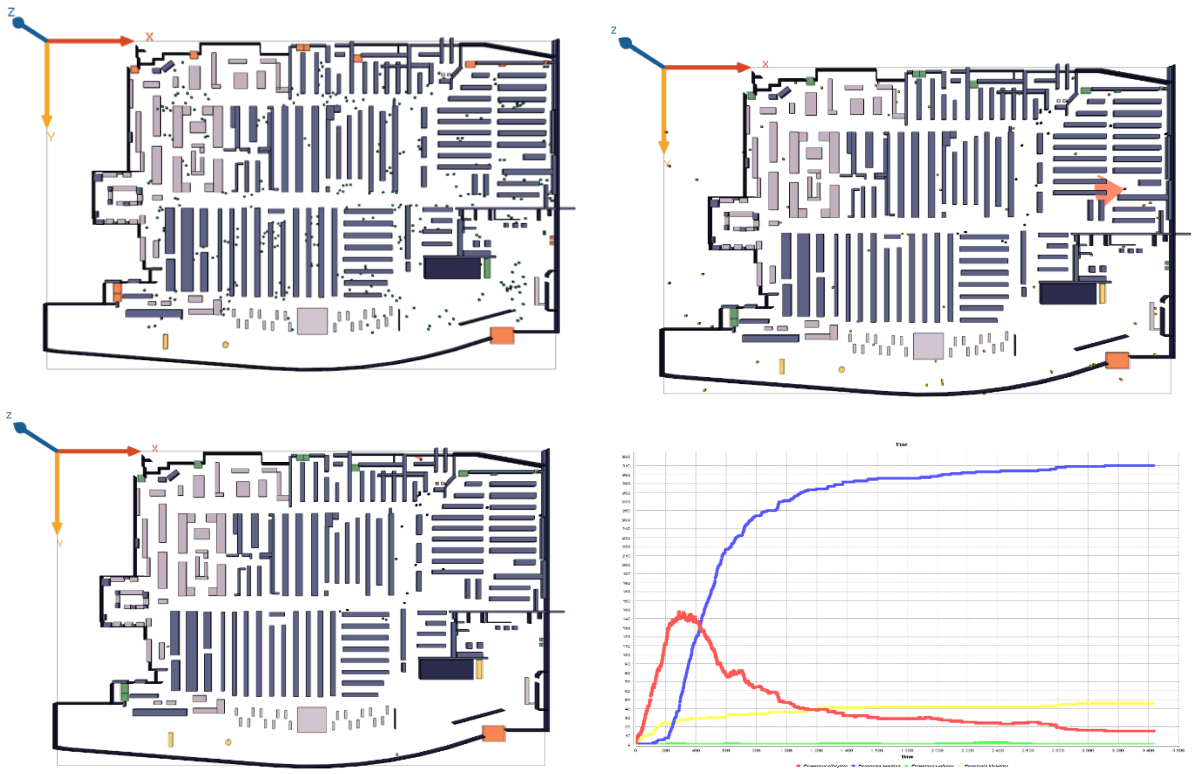


Figure 34

Représentation de l'interface de simulation lors du lancement d'un scénario



Pour chaque simulation la population et le terroriste ont été générés au même emplacement dans le supermarché. La population des clients et du personnel correspond au profil démographique relevée sur une période déterminée (Tableau 16). Le comportement d'évacuation est particulièrement sensible à l'interaction entre les agents « clients » et les agents « staff» (scénario « Guidage par le personnel »), le déplacement des agents, les interactions entre les agents clients, les interactions entre les agents et l'agent terroriste et l'interaction agent – environnement (scénario « Base », scénario « Sortie la plus proche », scénario « Guidage par le personnel », scénario « Signalisation dynamique ») et les interactions avec la signalisation (scénario « Signalisation dynamique »). Afin de réduire la variation stochastique au sein de chaque simulation, chaque scénario a été exécuté 10 fois (Edrisi, 2021).

Figure 35

Illustration de l'introduction d'agents terroristes (en rouge) dans le supermarché utilisé dans la simulation multi-agents et de la population des agents (les clients en vert et jaune et les agents membres du personnel en bleu).

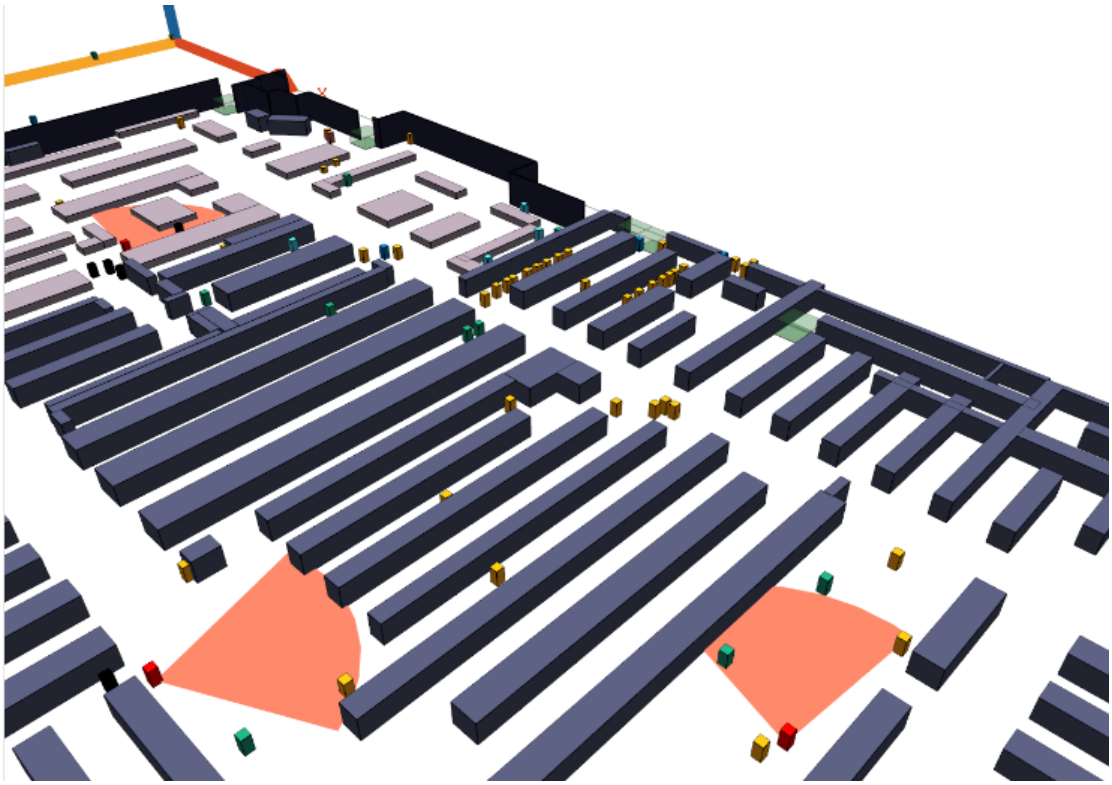


Figure 36

Démonstration vidéo de l'introduction d'agents terroristes (en rouge) dans le supermarché utilisé dans la simulation multi-agents et de la population des agents (les clients en vert et jaune et les agents membres du personnel en bleu).

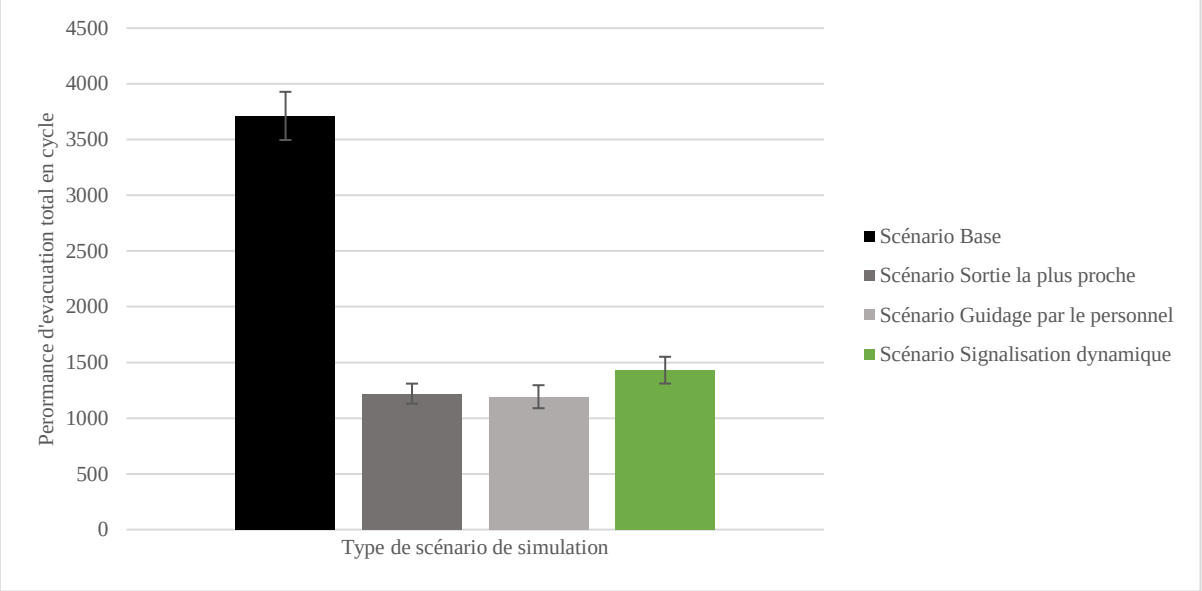
5.2. Les résultats

Analyses descriptives par scénario

Dans ce travail, 10 simulations ont été réalisées pour les 4 scénarios différents (Base, Sortie la plus proche, Guidage par le personnel, Signalisation dynamique). Le temps d'évacuation moyen de simulation était respectivement de 3712 cycles, 1220 cycles, 1170 cycles et 1431 cycles.

Figure 37

Performance moyenne d'évacuation totale des agents selon le type de scénario (en cycle)



Le tableau 5 présente les résultats de l'exécution des 4 scénarios selon le temps de sortie totale de la population des agents et le type de sortie utilisée par les agents.

Tableau 5

Les temps d'évacuation et le choix de sorties selon les différents scénarios

Scénario	Temps de sorties moyen (cycle)	Type de signalétique								
		MainExit			Conventional Exit			Dynamic Exit		
		Effectifs	%	Temps moyen	Effectifs	%	Temps moyen	Effectifs	%	Temps moyen
Base	3712	240	100	705	0	0	0	NA	NA	NA
Sortie la plus proche	1220	97	35	272	178	64	243	NA	NA	NA
Guidage par le personnel	1170	101	27	249	263	72	235	NA	NA	NA
Signalisation dynamique	1431	121	44	263	22	9	420	100	45	251

Les résultats du scénario « base » : Le scénario « Base » est un scénario sans utilisation de la signalisation. Les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales et les utilisent pour l'évacuation (N = 300). Ce scénario n'inclut pas la population des agents « staff ». Les résultats montrent que le nombre moyen d'agents « évacués » était de 241 et le nombre moyen d'agents « effrayés » étaient de 34. Concernant l'utilisation des sorties, 100 % des agents ont utilisé les sorties « MainExit » avec un temps de sortie moyen de 705 cycles.

Les résultats du scénario « Sortie la plus proche » : Le scénario « Sortie la plus proche » est un scénario idéal dans lequel tous les « agents » clients connaissent toutes les sorties (sorties principales et issues de secours) et utilisent la sortie la plus proche pour

l'évacuation (N = 300). Ce scénario n'inclut pas la population des agents « staff ». Les résultats montrent que le nombre moyen d'agents « évacués » était de 271 et le nombre moyen d'agents « effrayés » étaient de 18. Concernant l'utilisation des sorties, 240 agents « clients » ont utilisé les sorties « EmergencyExit » avec un temps de sortie moyen de 243 cycles et 97 agents « clients » ont utilisé les sorties « MainExit » avec un temps de sortie moyen de 272 cycles.

Les résultats du scénario « Guidage par le personnel » : Le scénario « Guidage par le personnel » est un scénario dans lequel au départ les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales (N = 300), mais pendant l'évacuation s'ils rencontrent des agents « staff » (N = 74), ils peuvent choisir de les suivre et d'utiliser les issues de secours. Les résultats montrent que le nombre moyen d'agents « évacués » était de 360 et le nombre moyen d'agents « effrayés » étaient de 22. Concernant l'utilisation des sorties, 263 agents ont utilisé les sorties « EmergencyExit » avec un temps de sortie moyen de 235 cycles et 101 agents ont utilisé les sorties « MainExit » avec un temps de sortie moyen de 249 cycles.

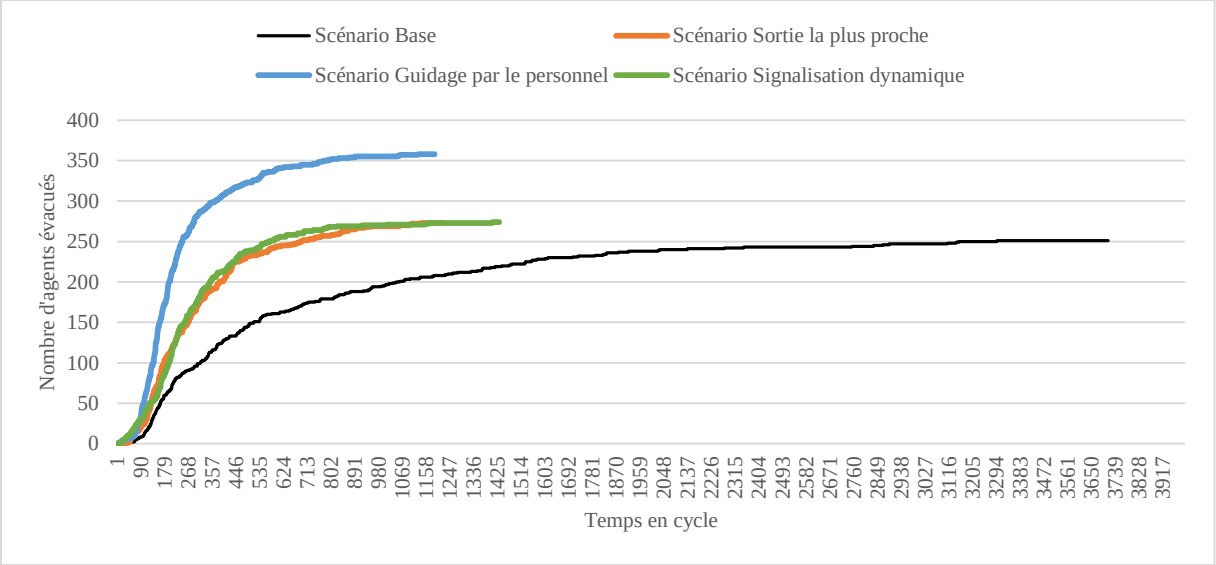
Les résultats du scénario « Signalisation dynamique » : Le scénario « Signalisation dynamique » est un scénario dans lequel au départ les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales (N = 300), mais pendant l'évacuation s'ils détectent des feux clignotants au-dessus d'une sortie de secours, ils peuvent choisir d'utiliser cette sortie. Les résultats montrent que le nombre moyen d'agents « évacués » était de 272 et le nombre moyen d'agents « effrayés » étaient de 44. Concernant l'utilisation des sorties, sur une moyenne de 123 agents qui ont utilisé les sorties « EmergencyExit » avec un temps de sortie moyen de 235 cycles, 100,9 agents ont utilisé une « EmergencyExit » avec un guidage dynamique avec un temps moyen de 251 cycles et 22 ont utilisé une « EmergencyExit » conventionnelle avec un temps moyen de 420 cycles, et 121 agents ont utilisés les sorties « MainExit » avec un temps de sortie moyen de 263 cycles.

6. Conclusion

Les résultats de l'exécution des quatre scénarios sont présentés selon le nombre d'agents évacués et le temps total d'évacuation (en cycle) pour une analyse descriptive comparée des scénarios « Base », « Sortie la plus proche », « Guidage par le personnel », « Signalisation dynamique » (figure 38).

Figure 38

Performance d'évacuation du nombre des agents évacués selon les scénarios et le temps (en cycle)



Dans le scénario « Base » : ce scénario représente une configuration proche des situations réelles. En effet, les individus ont tendance à utiliser la porte par laquelle ils sont entrés. Autrement dit, ils vont utiliser le même chemin pour entrer et pour sortir (Kunzer, 2016; Carattin, 2011; Frantzich, 2001; McClintock et al., 2001). Les résultats montrent qu'en comparaison avec les autres scénarios (Sortie la plus proche, Guidage par le personnel, Signalisation dynamique), le scénario « base » produit un temps plus long d'évacuation totale des agents.

Dans le scénario « Sortie la plus proche » : Un scénario idéal dans lequel tous les agents « clients » connaissent toutes les sorties (les sorties principales et toutes les issues de secours), et utilisent donc la sortie la plus proche pendant l'évacuation. Les résultats montrent qu'en comparaison du scénario « base », le temps total d'évacuation a diminué de 67,11 %. Ce qui suggère que l'amélioration de l'efficacité de l'évacuation est le résultat d'une meilleure répartition des agents vers les sorties disponibles et une réduction du temps de trajet vers les sorties. Néanmoins, le scénario « Sortie la plus proche » produit une utilisation des issues de secours déséquilibrée en raison de la forte utilisation des agents des issues de secours plus proche de leur emplacement de départ d'évacuation (64,76 %). Les résultats montrent que les issues de secours (8, 6 et 5) sont surutilisées en comparaison d'une sous-utilisation des issues de secours (0, 3 et 7).

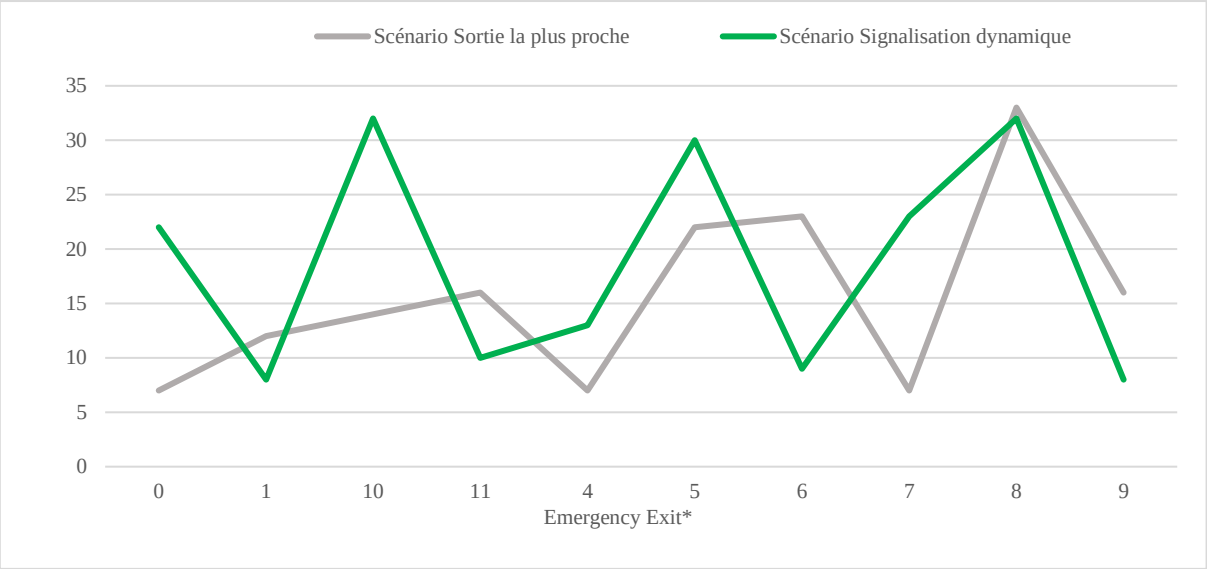
Dans le scénario « Guidage par le personnel » : Un scénario qui inclut les agents « staff ». Au départ, les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales, mais pendant l'évacuation, s'ils rencontrent des agents « staff », ils peuvent choisir de les suivre et d'utiliser les issues de secours. Les résultats montrent qu'en comparaison avec le scénario « Sortie la plus proche », une diminution du temps total d'évacuation de 2,28 %. Ce qui suggère que l'interaction avec les agents « staff » influence les performances d'évacuation des agents « clients ». De plus, on constate une meilleure répartition des agents « clients » vers les issues de secours pour une utilisation plus importante des issues de secours (0, 10, 5, 7, 8) que les autres. Il est possible que le guidage des agents « staff » améliore les performances d'évacuation des agents « clients » au niveau du temps d'évacuation et aussi de la répartition des agents vers les sorties disponibles.

Dans le scénario « Signalisation dynamique » : Un scénario qui inclut une signalisation dynamique des sorties de secours (10, 9, 7, 5, 0). Au départ, les agents « clients » ne connaissent que les sorties principales, mais pendant l'évacuation, s'ils détectent des feux clignotants au-dessus d'une sortie de secours, ils peuvent choisir d'utiliser cette sortie. Les résultats montrent qu'en comparaison du scénario « Signalisation dynamique » avec le scénario « Sortie la plus proche » et du scénario « Guidage par le personnel », une réduction de 17,23 % et de 19,97 % du temps total d'évacuation des agents « clients ». Cependant, il est important de souligner que le scénario « Sortie la plus proche » n'étant pas une configuration réaliste et que le scénario « Guidage par le personnel » nécessitant un personnel avec un niveau de formation aux procédures d'évacuation. Concernant la comparaison du scénario « Signalisation dynamique » avec le scénario « base », les résultats montrent une réduction de 61,45 % du temps d'évacuation des agents (en cycle). De plus, on observe un taux de détection de la signalétique dynamique supérieur pour les issues de secours équipées que pour les issues de secours non équipées. Néanmoins, certains agents ne détectent pas la signalétique active et utilisent les sorties principales.

Comparaison des scénarios « Sortie la plus proche » et « Signalisation dynamique » : Les résultats des scénarios « Sortie la plus proche » et « Signalisation dynamique » sont présentés selon le nombre d'agents évacués et le type de sortie utilisée pour une analyse descriptive comparée des scénarios « Sortie la plus proche » et « Signalisation dynamique » (Figure 39).

Figure 39

Répartition d'utilisation des issues de secours par les agents selon le scénario « Sortie la plus proche », et « Signalisation dynamique » (en nombre)



* Les « EmergencyExit » avec des indicateurs lumineux dans le scénario Signalisation dynamique sont les « EmergencyExit » 10, 9, 7, 5, 0.

L'analyse de la répartition d'utilisation des issues de secours révèle que le scénario « Sortie la plus proche » (scénario idéal) est obtenu un temps d'évacuation totale des agents inférieurs de 14,7 % en comparaison du temps d'évacuation du total du scénario « Signalisation dynamique ». L'analyse comparée des résultats montre cependant une différence au niveau de l'utilisation des issues de secours et de la répartition des agents. En effet, le scénario « Sortie la plus proche » produit une utilisation des issues de secours déséquilibrée avec une utilisation plus importante pour les issues de secours (8, 6 et 5) en comparaison d'une sous-utilisation des issues de secours (0, 4 et 7). Dans le scénario « Signalisation dynamique » (qui inclut une signalisation dynamique sur les sorties de secours 10, 9, 7, 5, 0), les résultats montrent un taux d'utilisation supérieur pour les issues de secours équipées par rapport aux issues de secours conventionnelles. Néanmoins, certains agents ne détectent pas la signalétique active et utilisent les sorties principales.

7. Discussion des expériences de simulations

Dans ce chapitre, l'objectif de cette étude était de réutiliser les résultats issus des études comportementales précédentes afin d'aller vers une simulation d'évacuation d'urgence d'un supermarché qui soit de fait la plus réaliste et fidèle possible à la réalité de terrain. Elle se base sur une approche multi-agents et une plateforme open source de modélisation et de simulation de systèmes multi-agents. Cette approche est souvent et généralement employée dans d'autres domaines que celui de notre étude. Cependant, moyennant le degré de plausibilité et de crédibilité des modélisations proposées qui sont basées sur l'exploitation des résultats issus des expériences comportementales précédemment citées, le bénéfice essentiel de ce type d'expérimentation est la souplesse d'utilisation, le temps et les coûts de nouvelles expérimentations.

Tout particulièrement, les expériences de simulations informatiques visaient à comparer les résultats de l'influence du guidage dynamique (i.e., feux clignotants) sur le choix de sortie lors d'une évacuation d'urgence. Une analyse de vérification a été réalisée sur la base d'une série d'expériences comportementales et les études antérieures dans la littérature pour évaluer le modèle de simulation et sa capacité à représenter les situations réelles. Le travail présenté avait pour objectif de démontrer et de quantifier, par la simulation, l'amélioration potentielle des performances d'évacuation dans un espace complexe du supermarché qui pourrait être obtenu en utilisant une signalisation dynamique en comparaison à une signalisation conventionnelle. En comparaison avec les études comportementales réalisées précédemment, les expériences de simulations informatiques ont permis de réaliser des scénarios avec une population plus importante (350 agents) dans l'environnement d'un supermarché virtuel (10 issues de secours et 3 sorties principales).

Les scénarios ont étudié la mise en œuvre de la signalisation et ont comparé l'efficacité de la signalétique dynamique en rapport à la signalisation conventionnelle. Les résultats obtenus

sont en accord avec les travaux de référence sur l'influence de la signalétique dynamique sur les performances d'évacuation (Nilsson, 2009; Galéa, 2014; McClintock, 2001; Galéa et al., 2017, 2016; Filippidis, 2021). Autrement dit, l'examen des simulations réalisées va dans le sens d'une modélisation possible de l'influence des affordances sur le comportement d'évacuation des agents dans un environnement virtuel complexe (Filippidis, 2021).

En parallèle de notre problématique, l'examen des simulations réalisées met en évidence l'influence de la formation des personnels sur le comportement d'évacuation des agents (i.e., clients) dans un environnement complexe (i.e., supermarché) virtuel.

Nos conclusions soulèvent que le comportement d'évacuation des occupants est largement étudié dans le contexte des incendies de bâtiment, tandis que d'autres types de comportements en réponse à différents types d'urgences (i.e., attentats) et différents types de bâtiment (i.e., supermarché) ont généralement été peu étudiés. De plus, notre recherche peut fournir des données pour de futures recherches de simulation d'attaques terroristes en supermarché.

CHAPITRE 4

Discussion

Notre approche incarnée et située de la cognition considère la prise de décision de l'individu en contexte d'évacuation d'urgence comme la conséquence d'une modification fonctionnelle du mode d'interaction entre le sujet et son environnement. Dans ce contexte, notre travail de thèse a consisté à appréhender la relation cognition/environnement dans le développement de sa flexibilité cognitive et de sa capacité de sauvegarde de son intégrité physique et psychique; autrement dit des facteurs à l'œuvre dans les interactions entre cognition, ressources et sensorialité. Pour ce faire, nous avons réalisé une série d'expériences comportementales et des expériences de simulations informatiques afin d'explorer les liens entre la cognition et la dynamique des capacités humaines dans un environnement complexe.

En nous adossant à la théorie des affordances (Gibson, 1979; Hartson, 1999; Norman, 2003) et les études récentes (Nilsson, 2009; Carattin, 2016; McGrenere, 2000; Shields, 2000; McClintock, 2001; Frantzich, 2001; Filippidis, 2021), nous avons exploré les liens entre les affordances cognitives, sensorielles, physiques et fonctionnelles dans une série d'expériences comportementales, des expériences de simulations informatiques et des études observationnelles en situation d'évacuation d'urgence dans l'environnement spécifique du supermarché. Les expériences comportementales et les études observationnelles ont été réalisées auprès des clients (N = 432) et des personnels des supermarchés (N = 248). Les objectifs de cette série d'expériences étaient de mettre à l'épreuve notre hypothèse selon laquelle modifier les affordances environnementales (sensorielles) modifie en retour la prise de décisions des participants (i.e., le choix de sortie). En outre, nous avons pu mettre en évidence que la modification de l'environnement permet d'aider la prise de décision en situation d'urgence. En accord avec notre hypothèse, la prise de décision de l'individu pourrait bénéficier des ressources intégrées dans l'environnement et serait susceptible d'augmenter les capacités cognitives qui facilitent l'action.

Sachant que notre question était comment faire en sorte que les clients des supermarchés utilisent les issues de secours pour se mettre en lieu sûr plutôt que l'entrée principale, les analyses issues des expériences comportementales et des expériences de simulations informatiques mettent en évidence les liens entre les affordances environnementales (sensorielles) et les comportements humains lors d'une évacuation d'urgence dans l'environnement spécifique du supermarché. Plus particulièrement, les résultats issus des expériences comportementales nous ont permis de mettre en évidence la faisabilité du dispositif (i.e., feux clignotants verts), sa fonctionnalité en supermarché, son acceptabilité et son influence sur le choix d'évacuation des participants dans un environnement contrôlé et dans un environnement non contrôlé avec de nombreuses sources de variations parasites. En comparaison, les expériences de simulation nous ont aussi permis de mettre en évidence l'influence de la signalisation dynamique par rapport à la signalisation conventionnelle avec une population plus importante (350 agents) et dans un environnement virtuel du supermarché (10 issues de secours et 3 sorties principales). De plus, les résultats des simulations informatiques vont dans le sens d'une modélisation possible de l'influence des affordances sur le comportement d'évacuation des agents dans un environnement virtuel complexe.

Ainsi, l'affordance sensorielle jouerait un rôle de soutien en facilitant les affordances physiques et cognitives lors du choix de sortie lors d'une évacuation d'urgence. Ce qui suggère que l'affordance sensorielle serait essentielle à la compréhension de la fonctionnalité de l'environnement et ainsi à la détection de l'affordance cognitive et physique. Autrement dit, l'affordance sensorielle apparaitrait comme une potentialisation de l'objet pertinent dans la configuration dans laquelle se trouve l'individu en situation d'évacuation d'urgence et ainsi permettrait de renforcer l'affordance cognitive offerte par le panneau de sortie de secours. Cela suggère l'efficacité des feux clignotants sur la prise de décision de choix de sortie des participants. Comme nous le défendons, la modification de l'environnement permettrait de

potentialiser la fonctionnalité des objets de l'environnement. Nos résultats sont en accord avec les travaux sur l'influence d'un guidage actif sur le choix d'évacuation et la possibilité de briser la tendance vers le familier (Nilsson, 2009; Carattin, 2011; Frantzich, 2001; McClintock et al., 2001; Galéa, 2014, 2017, 2016; Filippidis, 2021).

Conclusions et perspectives

Comme nous l'avons évoqué en introduction de ce travail de thèse, l'attentat du Super U de Trèbes est loin d'être un fait isolé. Son inscription dans les attentats meurtriers perpétrés en France depuis 2015 dans les établissements recevant du public a engendré de nombreuses lois, fait évoluer la législation anti-terroriste et a engagé la réflexion des professionnels de la sureté en France et dans le monde. Malheureusement, ces dispositions n'empêcheront pas que les supermarchés soient régulièrement la cible de nouvelles attaques terroristes dans l'actualité internationale.

En Nouvelle-Zélande, un terroriste a poignardé six personnes dans un supermarché d'Auckland le 3 septembre 2021. Le 15 mai 2022, un jeune homme de 18 ans a tué 10 personnes dans un supermarché de Buffalo dans un quartier afro-américain pour des motivations raciales (État de New York, USA). Récemment, un Danois de 22 ans est responsable d'une fusillade qui a fait trois morts dans un centre commercial de Copenhague. Ces événements tragiques dans les supermarchés montrent, d'une part, la nécessité d'intégrer la problématique de l'évacuation d'urgence dans le champ de la sécurité au travail; et d'autre part, la nécessité d'orienter les recherches futures vers la question de l'évacuation d'urgence dans le champ de la santé au travail. Au lendemain de l'attentat de Trèbes, les professionnels de la sûreté ont été mobilisés pour mener une réflexion sur les réponses à apporter en cas de nouveaux attentats dans les supermarchés (Leclerc, 2018).

Un expert de l'unité de coordination de la lutte anti-terroriste témoigne de la difficulté de concevoir des stratégies d'anticipation : « force est de constater que chaque attaque à sa

propre logique. Des personnes ont été tuées pour avoir tenté de quitter les lieux pris pour cibles, d'autres ont été piégées sur place. Il n'y a pas de règle générale et absolue. Ce sont les circonstances qui commandent. » (Leclerc, 2018).

Toutefois, dans un contexte de « risques d'attaques armées » dans les supermarchés, les experts ouvrent sur la nécessité d'apporter des améliorations pour la sécurité des personnels et des usagers des supermarchés concernant 1) les procédures d'évacuation des personnels et 2) les emplacements et la localisation des issues de secours : « « Au Bataclan, les issues étaient d'un seul côté, ce qui a contribué à augmenter le nombre de victimes contraintes de traverser la pièce pour fuir » (Leclerc, 2018). Des réflexions pertinentes qui rejoignent les conclusions de ce travail de thèse et nous encouragent à proposer des pistes d'amélioration de la signalisation des issues de secours auprès des usagers des supermarchés, et l'intégration de la problématique de l'évacuation d'urgence dans une recommandation en matière de santé au travail.

Les pistes d'amélioration relatives à la signalisation des issues de secours

Comme nous l'avons évoqué précédemment, lors d'une attaque dans un lieu public, l'utilisation des sorties de secours est essentielle pour s'échapper. En France, le Code de la construction et de l'habitation stipule d'ailleurs que les sorties et les dégagements intérieurs qui y conduisent doivent être aménagés et répartis de telle façon qu'ils permettent l'évacuation rapide et sûre des personnes (Gasparotto, 2018). Afin de faciliter le flux des individus vers l'extérieur du supermarché, la règlementation des issues de secours impose certaines caractéristiques de conception selon les normes de sécurité en vigueur (i.e., emplacement, nombre, largeur, signalisation). Cependant, les résultats issus de ce travail mettent en évidence des pistes d'amélioration sur la signalisation des issues de secours dans les supermarchés.

Dans ce travail, les résultats obtenus confirment l'efficacité de signalétique dynamique en comparaison avec la signalétique conventionnelle. Cela, nous engage à suggérer une proposition d'évolution de la conception de la signalisation des sorties dans les supermarchés

en équipant les issues de secours avec des feux clignotants verts afin de 1) briser la tendance vers les sorties familières, 2) diriger les clients vers les sorties souhaitées et 3) éviter la menace. De plus, les résultats suggèrent que lorsque la porte n'est pas identifiée comme une sortie possible (i.e., la porte avec le visuel de la truite), cette dernière n'a plus de fonctionnalité d'issue en cas de danger. Des résultats qui mettent en évidence l'importance de l'évolution de la réglementation portant sur les caractéristiques obligatoires de la conception des issues de secours en matière de couleur des issues de secours.

En nous appuyant sur les résultats issus des expériences comportementales, les conclusions de ce travail ouvrent des perspectives d'amélioration de la signalisation et de la conception des issues de secours telles que : utiliser une signalisation dynamique de feux clignotants verts, uniformiser la couleur des issues de secours en utilisant le vert de sécurité et proscrire l'utilisation de visuel publicitaire, intégrer des déclenchements manuels pour activer en réseau de la signalisation dynamique à différents points clefs du supermarché (accueil, PC sécurité et au niveau de chaque issue de secours) ou encore mener des travaux futurs sur une technologie avancée de la signalisation pour diriger les usagers vers les zones « sûres » et éviter les zones de « danger ».

Les pistes de réflexion relatives à la santé et la sécurité au travail

Les analyses issues des résultats des études observationnelles et des expériences de simulations présentées dans ce travail nous encouragent à suggérer aux supermarchés la mise en place d'une formation des personnels des magasins spécifique à l'évacuation d'urgence (Chapitre 3; Annexe J; Annexe K). Il est important de souligner que la règlementation obligatoire de l'évacuation concerne uniquement l'évacuation des risques incendie pour les ERP (Établissements recevant du public). À ce jour, la formation des personnels des supermarchés à l'évacuation d'urgence n'est pas obligatoire. Dans ce contexte, nous proposons

d'intégrer la problématique de l'évacuation d'urgence dans une recommandation en matière de santé au travail.

Par définition, les recommandations sont des textes qui définissent et regroupent les bonnes pratiques de prévention des risques liés à votre activité. Les recommandations sont proposées aux entreprises dans le cadre de la prévention des risques professionnels, et même si elles ne constituent pas une règlementation, leur non-respect peut entraîner des conséquences juridiques.

Plus précisément, les recommandations en matière de prévention des risques professionnels sont des textes élaborés et adoptés par les partenaires sociaux (organisations représentatives des employeurs et des salariés) au sein des comités techniques nationaux sectoriels de la Caisse nationale d'assurance maladie (CTN « D » pour les supermarchés, industries agroalimentaires, hôtellerie-restauration, CTN A pour la métallurgie, CTN B pour le bâtiment et les travaux publics, CTN G pour les commerces non alimentaires…).Une recommandation n'est pas directement normative, mais représente les « bonnes pratiques » à suivre pour éviter la réalisation des risques sur laquelle elle porte et le fait de ne pas la suivre expose l'employeur à une reconnaissance de « faute inexcusable » en cas d'accident du travail ou de maladie professionnelle. Par exemple, une recommandation que le grand public est amené à connaître est l'invitation des clients des supermarchés à laisser dans le chariot les produits de 8 kg : il s'agit d'une recommandation adoptée par le CTN D, destinée à réduire le risque de troubles musculo-squelettiques chez les hôtes et hôtesses de caisse.

Depuis la réforme d'aout 2004, la caisse nationale d'assurance maladie (CNAM) est en charge de nouvelles responsabilités en matière de santé et de prévention, notamment de la gestion du risque. Parmi ses multiples missions, la prévention des accidents du travail nous intéresse particulièrement.

En outre, parmi les établissements recevant du public (ERP) pouvant être concernés par les questions d'évacuation d'urgence, nous relevons que les secteurs du commerce alimentaire et non alimentaire sont particulièrement exposés aux accidents du travail consécutifs aux agressions et menaces de personnes (i.e., braquage, prise d'otage, attentat, conflits sociaux). Les statistiques établies à partir des données nationales de l'année 2019 apportent des données particulièrement intéressantes. Les indicateurs de sinistralité révèlent que 483 accidents du travail sont liés à la catégorie des chocs consécutifs à une agression ou menace sur le lieu de travail. Ce qui représente 67 970 journées perdues pour les seuls secteurs du CTND (Commerce alimentaire) et CTNG (commerce non alimentaire). Dans ce contexte, la réglementation rappelle que chaque entreprise doit connaitre les risques et leur prévention. Selon l'article L. 4121-1 du Code du travail, l'employeur est tenu de prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs. Ces mesures, qui comprennent des actions de prévention, des actions de formation et la mise en place de moyens adaptés, doivent être adaptées au changement de circonstances et améliorer les situations existantes

Comme nous l'avons dit précédemment, un des objectifs lors d'une évacuation d'urgence est de s'échapper le plus rapidement possible. Toutefois, la règlementation obligatoire de la formation à l'évacuation concerne uniquement l'évacuation lors d'un incendie pour les ERP (Établissements recevant du public). Dans ce contexte, les analyses issues des données sur les expériences comportementales, des études observationnelles et des expériences de simulations présentées dans ce travail nous suggèrent la nécessité de la mise en place d'une formation des personnels des magasins (Chapitre 3; Annexe J; Annexe K). Les résultats issus de ce travail, en accord avec la littérature, identifient la formation et la préparation aux situations d'urgence comme principal mécanisme d'amélioration de la performance des individus dans des situations d'urgence (Gwynne, 2020; Kinateder, 2013; Holloway, 2007; Gwynne, 2016).

Comme nous l'avons évoqué dans l'étude d'observation d'exercices d'évacuation d'urgence en supermarché (Annexe J), de nombreux travaux antérieurs ont démontré que 1) le facteur de l'influence sociale dans le comportement collectif d'évacuation en situation d'urgence et 2) le rôle de la familiarité de la sortie sur la sélection de la sortie lors d'une urgence (Helbing, 1995; Moussaïd et al., 2011).

Pour aller plus loin dans la prévention des risques liés à l'évacuation d'urgence dans les supermarchés, nous suggérons d'intégrer la problématique de l'évacuation d'urgence dans une recommandation en matière de santé au travail. L'objectif de la recommandation serait de faire évoluer la formation incendie obligatoire en intégrant un module complémentaire sur les pratiques de l'évacuation d'urgence (i.e., différentes menaces, emplacement et fonctionnement des issues de secours, guidage des clients, point de rassemblement). De plus, chaque supermarché et plus largement chaque entreprise recevant du public (ERP) devrait s'assurer que le personnel : connait l'emplacement de la totalité des issues de secours et les utilise régulièrement, utilise les issues de secours dans un comportement circulatoire de sortie familière, ou encore identifie les trajectoires alternatives en cas d'évacuation d'urgence afin de réduire les congestions importantes et d'éviter les distances de déplacement accrues. Des exemples de bonnes pratiques qui pourraient être facilement mis en place par une formation à l'évacuation recommandée par la CNAM (Caisse nationale d'assurance maladie), le livret d'accueil des nouveaux embauchés, ou encore par des exercices d'évacuations d'urgence autour d'une préparation collaborative avec les acteurs de la sécurité et de la santé publique.

En conclusion, il est important de souligner que ce travail de thèse est bien de marquer sa volonté de contribuer, dans la mesure du possible, à la prévention des risques humains dans un contexte de risques attentatoires dans les supermarchés et plus largement dans les ERP (Établissements recevant du public) et surtout, d'ouvrir des perspectives pour les recherches futures.

Bibliographie

Abdelhak, H. (2013). Modélisation des phénomènes de panique dans le cadre de la gestion de crise (Doctoral dissertation, Université du Havre). ⟨tel-01356721⟩

Almogy, G., & Rivkind, A. I. (2007). Terror in the 21st century: milestones and prospects—part I. *Current problems in surgery*, *44* (8), 496-554. https://doi.org/10.1067/j.cpsurg.2007.05.002

Arroyo, A. (2012). *Professionnalisation des agents de prévention et de sécurité privée*. Éditions Universitaires Européennes.

Arthur, P., & Passini, R. (1992). *Wayfinding: people, signs, and architecture*. http://worldcat.org/isbn/0075510162

Asano, M., Iryo, T., & Kuwahara, M. (2010). Microscopic pedestrian simulation model combined with a tactical model for route choice behaviour. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, *18*(6), 842-855. https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.01.005

Augustijn-Beckers, E. W., Flacke, J., & Retsios, B. (2010). Investigating the effect of different pre-evacuation behavior and exit choice strategies using agent-based modeling. Procedia Engineering, 3, 23-35. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.07.005

Balboa, A., González-Villa, J., Cuesta, A., Abreu, O., & Alvear, D. (2020). Testing a real time intelligent evacuation guiding system for complex buildings. *Safety Science*, *132*, 104970. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104970

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. Annu. Rev. Psychol., 59, 617-645. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639.

Benthorn, L., & Frantzich, H. (1999). Fire alarm in a public building: How do people evaluate

information and choose an evacuation exit ? Fire and Materials, 23(6), 311-315. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1018(199911/12)23:6<311:: AID-FAM704>3.0.CO; 2- J

Bhargava, A., Solini, H., Lucaites, K., Bertrand, J. W., Robb, A., Pagano, C. C., & Babu, S. V. (2020, March). Comparative evaluation of viewing and self-representation on passability affordances to a realistic sliding doorway in real and immersive virtual environments. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 519-528). IEEE. https://doi.org/0.1109/VR46266.2020.00073

Bloom, M. (2005). *Dying to kill: The allure of suicide terror*. Columbia University Press.

Bourgais, M. (2018). *Vers des agents cognitifs, affectifs et sociaux dans la simulation* (Doctoral dissertation, Normandie Université).

Bovin, B. G., Kazberov, P. N., & Bovina, I. B. (2020). Involvement in terrorist activities in Russia and in the world: From psychological to social-psychological factors. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, *17* (2), 227-246. https://doi.org/10.22363/2313-1683-2020-17-2-227-246

Bovin, B. G., Kazberov, P. N., & Bovina, I. B. (2020). Involvement in terrorist activities in Russia and in the world: From psychological to social-psychological factors. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, *17*(2), 227-246. https://doi.org/ 10.22363/2313-1683-2020-17-2-227-246

Bovina, I. B., Bovin, B. G., & Tikhonova, A. D. (2020). Radicalisation : A Social Psychological Perspective (Part I). *Psychology and Law*, *10*(3), 120-142. https://doi.org/10.17759/psylaw.2020100309

Briot, J. P., & Demazeau, Y. (2001). Principes et architecture des systèmes multi-agents. Hermès-Lavoisier.

Brouillet, T., Ferrier, L. P., Grosselin, A., & Brouillet, D. (2011). Action compatibility effects are hedonically marked and have incidental consequences on affective judgment. *Emotion*, *11*(5), 1202. https://doi.org/10.1037/a0024742

Boschker, M. S., Bakker, F. C., & Michaels, C. F. (2002). Memory for the functional characteristics of climbing walls: perceiving affordances. *Journal of Motor Behavior*, *34*(1), 25-36. https://doi.org/10.1080/00222890209601928

Bryan, J.L., "Behavioral Response to Fire and Smoke", *FPE Handbook of Fire Protection Engineering (2nd ed.)*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1995, pp. 315-341.

Busogi, M., Shin, D., Ryu, H., Oh, Y. G., & Kim, N. (2017). Weighted affordance-based agent modeling and simulation in emergency evacuation. Safety science, 96, 209-227. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.04.005

Buxbaum, L. J., & Kalénine, S. (2010). Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1191*(1), 201-218. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05447.x

Cao, S., Fu, L., & Song, W. (2018). Exit selection and pedestrian movement in a room with two exits under fire emergency. Applied Mathematics and Computation, 332, 136-147. https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.03.048

Cao, S., Fu, L., Wang, P., Zeng, G., & Song, W. (2018). Experimental and modeling study on evacuation under good and limited visibility in a supermarket. Fire safety journal, 102, 27-36. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.10.003

Carattin, E., & Tatano, V. (2015). To areas of refuge and beyond: proposals for improving egressibility for the disabled. A case study in Italy. In Proceedings of the 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire 2015 (pp. 257-268).

Carattin, E., Lovreglio, R., Ronchi, E., & Nilsson, D. (2016). Affordance-based evaluation of signage design for areas of refuge. In 14th International Conference and Exhibition on Fire Science and Engineering.

Carattin, E. (2011). Wayfinding architectural criteria for the design of complex environments in emergency scenarios.

Carattin, E., Meneghetti, C., Tatano, V., & Pazzaglia, F. (2016). Human navigation inside complex buildings: using instructions and maps to reach an area of refuge. International Journal of Design Creativity and Innovation, 4(2), 105-118. https://doi.org/10.1080/21650349.2015.1135760

Chen, C., Li, Q., Kaneko, S., Chen, J., & Cui, X. (2009). Location optimization algorithm for emergency signs in public facilities and its application to a single-floor supermarket. Fire Safety Journal, 44(1), 113-120. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.05.006

Cho, C., Park, J., & Sakhakarmi, S. (2019). Emergency response: Effect of human detection resolution on risks during indoor mass shooting events. *Safety science*, *114*, 160-170. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.021

Cho, D. T., & Proctor, R. W. (2010). The object-based Simon effect: Grasping affordance or relative location of the graspable part?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(4), 853. https://doi.org/10.1037/a0019328

Chong, I., & Proctor, R. W. (2020). On the evolution of a radical concept: Affordances

according to Gibson and their subsequent use and development. *Perspectives on Psychological Science*, *15*(1), 117-132. https://doi.org/10.1177/1745691619868207

Cialdini, R. B. (2001). Harnessing the science of persuasion. Harvard business review, 79 (9), 72-81. https://www.jstor.org/stable/26059056

Craveur, J. C., Galéa, E. R., Filippidis, L., & ISMANS, L. M. (2016). Mesures de vitesses pour les simulations de mouvement de personnes et d'évacuation. *Journées du Groupe de Recherche Feux, Cadarche*. http://docs.gdrfeux.univ-lorraine.fr/Cadarache/ISMANS1.pdf

Dafflon, B. (2014). *Modèle multi-agent d'inspiration physique pour la prise de décision : Application à la conduite en convoi* (Doctoral dissertation, Université de Technologie de Belfort-Montbeliard).

Da Silva, F., Camus, T., Brouillet, D., Jimenez, M., Viglieno, E., & Brunel, L. (2021). Is a letterbox always a letterbox? The role of affordances in guiding perceptual categorization. *Psychological research*, *85*(4), 1673-1684. https://doi.org/10.1007/s00426-020-01328-x

DeLoach, S. A. (2009). Moving multi-agent systems from research to practice. *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering*, *3*(4), 378-382.

Dewey, J. (1896). The reflex arc concept in psychology. *Psychological review*, *3*(4), 357. https://doi.org/10.1037/h0070405

Ding, N., Ma, Y., Dong, D., & Wang, Y. (2021). Experiment and simulation study of emergency evacuation during violent attack in classrooms. *Journal of Safety Science and Resilience*, *2*(4), 208-221. https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2021.09.002

Dutriaux, L., & Gyselinck, V. (2016). Learning is better with the hands free: The role of posture in the memory of manipulable objects. *PLoS One*, *11*(7), e0159108. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159108

Economidou, E., & Hengeveld, B. (2021). No Door Handle, No Entry! Expressing Cues through a Shape-Changing Door. In *Interactive Surfaces and Spaces* (pp. 1-7). https://doi.org/10.1145/3447932.3492326

Edrisi, A., Lahoorpoor, B., & Lovreglio, R. (2021). Simulating metro station evacuation using three agent-based exit choice models. *Case studies on transport policy*, *9*(3), 1261-1272. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.06.011

Edwards, D. S., Mcmenemy, L., Stapley, S. A., Patel, H. D. L., & Clasper, J. C. (2016). 40 years of terrorist bombings–a meta-analysis of the casualty and injury profile. *Injury*, *47*(3), 646-652. https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.12.021

Feng, Y., Duives, D. C., & Hoogendoorn, S. P. (2021). Using virtual reality to study pedestrian exit choice behaviour during evacuations. *Safety science*, *137*, 105158. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105158

Federico, G., & Brandimonte, M. A. (2019). Tool and object affordances: An ecological eye-tracking study. *Brain and cognition*, *135*, 103582. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.103582

Ferber, J. (1997). Les systèmes multi-agents : un aperçu général. *Techniques et sciences informatiques*, *16* (8), 979-1012. https://www.researchgate.net/profile/Jacques-Ferber/publication/242623967_Les_systemes_multi-

agents_un_apercu_general/links/5409e5100cf2df04e7491c02/Les-systemes-multi-agents-un-apercu-general.pdf

Filippidis, L., Xie, H., Galéa, E. R., & Lawrence, P. J. (2021). Exploring the potential effectiveness of dynamic and static emergency exit signage in complex spaces through simulation. *Fire Safety Journal*, *125*, 103404. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103404

Fisk, J. D., & Goodale, M. A. (1985). The organization of eye and limb movements during unrestricted reaching to targets in contralateral and ipsilateral visual space. *Experimental brain research*, *60*(1), 159-178. https://doi.org/10.1007/BF00237028

Frantzich, H. (2001). Occupant behaviour and response time. In *2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire* (pp. 159-165). Interscience Communications Ltd. https://lup.lub.lu.se/record/781730

Frantzich, H. (2001a). Occupant behaviour and response time – Results from evacuation experiments.Proceedings of the 2nd International Symposium on Human Behaviour in Fire, Boston, USA, pp. 159-165.

Frantzich, H., & Nilsson, D. (2003). Evacuation through Dense Smoke: Behaviour and Movement. *Report*, *312*, 75.

Galéa, E. R., Xie, H., & Lawrence, P. J. (2014). Experimental and survey studies on the effectiveness of dynamic signage systems. *Fire Safety Science, 11*, 1129-1143. http://dx.doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-1129

Galéa, E. R., Xie, H., Deere, S., Cooney, D., & Filippidis, L. (2017). Evaluating the effectiveness of an improved active dynamic signage system using full scale evacuation trials. *Fire Safety Journal*, *91*, 908-917. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.022

Gasparotto, T. (2018). *Modélisation de l'évacuation des personnes en situation d'incendie* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine). https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01896773

Gasparotto, T., Collin, A., Boulet, P., Piante, G., & Muller, A. (2018). Modélisation macroscopique de l'évacuation des personnes en situation d'incendie. In *proceedings of the 2016 conference of the French Thermic Society, Toulouse*.

Ghliss, Y., Perea, F., & Ruchon, C. (2019). Introduction : les affordances langagières, levier d'une réflexion postdualiste du discours numérique ? *Corela. Cognition, représentation, langage*, (HS-28). https://doi.org/10.4000/corela.8282

Gibson, J. J. (1975). Affordances and behavior. *Reasons for realism: Selected essays of James J. Gibson*, 410-411.

Gibson, J. J. (1977). The concept of affordances. *Perceiving, acting, and knowing*, *1*.

Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. *Hilldale, USA*, *1*(2), 67-82.

Gibson, J. J. (2014). *The ecological approach to visual perception: classic edition*. Psychology Press.

Gibson, J. J., & Carmichael, L. (1966). *The senses considered as perceptual systems* (Vol. 2, No. 1, pp. 44-73). Boston : Houghton Mifflin.

Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and brain sciences*, *20*(1), 1-19. https://doi.org/10.1017/S0140525X97000010

Global Terrorism Database, National Consortium for the Study of Terrorism (START), Université du Maryland, Codebook: Inclusion Criteria and Variables, juillet 2017. https://www.start.umd.edu/sites/default/files/publications/local_attachments/START_GTD_TerrorismIn2018_Oct2018.pdf

Grignard, A. (2015). *Modèles de visualisation à base d'agents* (Doctoral dissertation, Paris 6).

Guikas, I., Morin, D., & Bigras, M. (2016). Développement d'une grille d'observation : considérations théoriques et méthodologiques. *Revue francophone de la déficience intellectuelle*, *27*, 163-178. https://doi.org/10.7202/1043131ar

Guo, R. Y. (2014). New insights into discretization effects in cellular automata models for pedestrian evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *400*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.01.001

Gwynne, S., Galéa, E. R., Parke, J., & Hickson, J. (2003). The collection and analysis of pre-evacuation times derived from evacuation trials and their application to evacuation modelling. *Fire Technology*, *39*(2), 173-195. https://doi.org/10.1023/A:1024212214120

Gwynne, S. M., Boyce, K. E., Kuligowski, E. D., Nilsson, D., Robbins, A., & Lovreglio, R. (2016). Pros and cons of egress drills. *Interflam 2016*, 1657-1670.

Gwynne, S., Amos, M., Kinateder, M., Benichou, N., Boyce, K., van Der Wal, C. N., & Ronchi, E. (2020). The future of evacuation drills: Assessing and enhancing evacuee performance. *Safety science*, *129*, 104767. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104767

Ha, V., & Lykotrafitis, G. (2012). Agent-based modeling of a multi-room multi-floor building emergency evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *391*(8), 2740-2751. https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.12.034

Hartson, R. (2003). Cognitive, physical, sensory, and functional affordances in interaction design. *Behaviour & information technology*, *22*(5), 315-338. https://doi.org/10.1080/01449290310001592587

Hassanin, M., Khan, S., & Tahtali, M. (2021). Visual affordance and function understanding: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR), 54*(3), 1-35. https://doi.org/10.1145/3446370

Hassanpour, S., & Rassafi, A. A. (2021). Agent-Based Simulation for Pedestrian Evacuation Behaviour Using the Affordance Concept. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *25*(4), 1433-1445. https://doi.org/10.1007/s12205-021-0206-7

Helbing, D., & Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical review E*, *51*(5), 4282. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282

Helbing, D., Buzna, L., Johansson, A., & Werner, T. (2005). Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions. *Transportation science*, *39*(1), 1-24. https://doi.org/10.1287/trsc.1040.0108

Helbing, D., Farkas, I. J., Molnar, P., & Vicsek, T. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestrian and evacuation dynamics*, *21*(2), 21-58. https://www.researchgate.net/publication/224010870_Simulation_of_pedestrian_crowds_in_normal_and_evacuation_situations

Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., & Takimoto, K. (2003). Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics. *Physical review E*, *67*(6), 067101. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.67.067101

Holloway, L. G. (2007). Emergency preparedness: Tabletop exercise improves readiness. *Professional Safety*, *52*(8), 48.

Hostikka, S., Paloposki, T., Rinne, T., Saari, J. M., Korhonen, T., & Heliövaara, S. (2007).

Evacuation experiments in offices and public buildings. *VTT Technical Research Center of Finland*.

Hou, L., Liu, J. G., Pan, X., & Wang, B. H. (2014). A social force evacuation model with the leadership effect. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *400*, 93-99. https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.12.049

Huo, F., Song, W., Chen, L., Liu, C., & Liew, K. M. (2016). Experimental study on characteristics of pedestrian evacuation on stairs in a high-rise building. *Safety science*, *86*, 165-173. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.02.025

Hu, Y., Zhang, J., & Song, W. (2019). Experimental study on the movement strategies of individuals in multidirectional flows. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *534*, 122046. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122046

Imana, E. Y., & Kirk, D. (2009, March). Random walk in extreme conditions-an agent based simulation of suicide bombing. In *2009 IEEE Symposium on Intelligent Agents* (pp. 114-121). IEEE. https://doi.org/10.1109/IA.2009.4927508.

Janis, A. I. (1957). *Coordinate conditions and true observables*. Syracuse University.

JONES, H., SAUNIER, J., & LOURDEAUX, D. (2009). Vers une intégration des facteurs physiologiques, de personnalité et d'émotion dans les agents cognitifs. *Rencontres Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle*. https://pagesperso.litislab.fr/~jsaunier/publi/rjcia09.pdf

Joo, J., Kim, N., Wysk, R. A., Rothrock, L., Son, Y. J., Oh, Y. G., & Lee, S. (2013). Agent-

based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *32*, 99-115. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.12.007

Kasereka, S., Kasoro, N., Kyamakya, K., Goufo, E. F. D., Chokki, A. P., & Yengo, M. V. (2018). Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire. *Procedia Computer Science*, *130*, 10-17. https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.006

Kinateder, M., Comunale, B., & Warren, W. H. (2018). Exit choice in an emergency evacuation scenario is influenced by exit familiarity and neighbor behavior. *Safety science*, *106*, 170-175. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.015

Kinateder, M., Pauli, P., Müller, M., Krieger, J., Heimbecher, F., Rönnau, I., ... & Mühlberger, A. (2013). Human behaviour in severe tunnel accidents: Effects of information and behavioural training. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *17*, 20-32. https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.09.001

Kinateder, M., Warren, W. H., & Schloss, K. B. (2019). What color are emergency exit signs? Egress behavior differs from verbal report. *Applied ergonomics*, *75*, 155-160. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.010

Kirk, D. R. (2008, November). Emergency 101-suicide bombers, crowd formations and blast waves. In *MILCOM 2008-2008 IEEE Military Communications Conference* (pp. 1-7). IEEE. https://doi.org/10.1109/MILCOM.2008.4753519

Künzer, L., Hofinger, G., & Zinke, R. (2016). The Influence of Colored Running Lights on

Route Choice–Dynamic Guidance and Affordance. In *Proceedings of the 8th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics: PED 2016* (pp. 167-172). https://team-hf.de/wp-content/uploads/2021/05/kuenzer-2016-ped-2016-influence-of-colored-run.pdf

Künzer, L., Zinke, R., & Hofinger, G. (2020). Dynamic Guidance by Colored Running Lights and Affordance: Route Choices of Adults and Older Children. *Collective Dynamics, 5*, 214-221. https://doi.org/10.17815/CD.2020.53

Latour, X. (2018). La loi renforçant la sécurité intérieure et la lutte contre le terrorisme : le législateur et la peur. *Paix et sécurité européenne et internationale*, (8). halshs-03156348

Latour, X. (2021). Les communes et l'échange d'informations en matière de sécurité. *Societes*, (2), 17-26. https://doi.org/10.3917/soc.152.0017

Latour, X. (2009). La puissance publique et les contrôles exercés sur les entreprises de sécurité privée. *L'Actualité juridique. Droit administratif*, (15), 800. http://esnes.safetyhost.net/i_zip/revue_ajda_avril2009.pdf.

Laville, F. (2000). La cognition située : une nouvelle approche de la rationalité limitée. *Revue économique*, 1301-1331. https://doi.org/10.2307/3503023

Leclerc. JM. (2018, avril), Attaque terroriste : comment les supermarchés organisent leur protection. *Le Figaro*. https://www.lefigaro.fr/actualite-france/2018/04/24/01016-20180424ARTFIG00285-attaque-terroriste-comment-les-supermarches-organisent-leur-protection.php

Li, L., Yu, Z., & Chen, Y. (2014). Evacuation dynamic and exit optimization of a supermarket based on particle swarm optimization. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *416*, 157-172. https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.08.054

Li, S., Zhuang, J., & Shen, S. (2017). A three-stage evacuation decision-making and behavior model for the onset of an attack. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, *79*, 119-135. https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.008

Limousin, P., Tixier, J., Bony-Dandrieux, A., Chapurlat, V., & Sauvagnargues, S. (2016, September). A new method and tools to scenarios design for crisis management exercises. In *CISAP7: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND ENVIRONMENT IN PROCESS INDUSTRY* (Vol. 53, pp. 319-324). ⟨hal-02408047⟩

Lin, J., Zhu, R., Li, N., & Becerik-Gerber, B. (2020). Do people follow the crowd in building emergency evacuation? A cross-cultural immersive virtual reality-based study. *Advanced Engineering Informatics*, *43*, 101040. https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101040

Liu, R., Fu, Z., Schadschneider, A., Wen, Q., Chen, J., & Liu, S. (2019). Modeling the effect of visibility on upstairs crowd evacuation by a stochastic FFCA model with finer discretization. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *531*, 121723. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121723

Lovreglio, R., & Kinateder, M. (2020). Augmented reality for pedestrian evacuation research: promises and limitations. *Safety science*, *128*, 104750. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104750

Lovreglio, R., Borri, D., dell'Olio, L., & Ibeas, A. (2014). A discrete choice model based on

random utilities for exit choice in emergency evacuations. *Safety science, 62*, 418-426. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.004

Lovreglio, R., Fonzone, A., Dell'Olio, L., Borri, D., & Ibeas, A. (2014). The role of herding behaviour in exit choice during evacuation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 160*, 390-399. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.151

Lovreglio, R., Ronchi, E., & Nilsson, D. (2015). A model of the decision-making process during pre-evacuation. *Fire Safety Journal, 78*, 168-179. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.07.001

Luyat, M., & Regia-Corte, T. (2009). Les affordances : de James Jerome Gibson aux formalisations récentes du concept. *L'Année psychologique, 109* (2), 297-332. https://doi.org/10.3917/anpsy.092.0297

Ma, L., Chen, B., Qiu, S., Li, Z., & Qiu, X. (2017). Agent-based modeling of emergency evacuation in a railway station square under sarin terrorist attack. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 8* (02), 1750022. https://doi.org/10.1142/S1793962317500222

Ma, Y., Yuen, R. K. K., & Lee, E. W. M. (2016). Effective leadership for crowd evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 450*, 333-341. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.12.103

Macatulad, E. G., & Blanco, A. C. (2019). A 3DGIS multi-agent geo-simulation model for assessment of building evacuation scenarios considering urgency and knowledge of exits. *International Journal of Urban Sciences, 23*(3), 318-334. https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1549505

Manalili, S., Rafols, H., Ramos, J., Shah, S., & Garciano, L. E. (2020). ENHANCED SAFE

CONDUCT AND PREPARATION FOR EFFECTIVE EVACUATION (ESCAPEE) USING GAMA. *GEOMATE Journal*, *18*(68), 194-199.

Mantel, B., Faugloire, E., & Lejeune, L. (2016, September). Affordance : théorie, Caractérisation et perspectives pour l'ergonomie. In *51ème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française*. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03480608

Martin, R. (2005). Terreur et terrorisme. *Revue juridique de l'Ouest*, *18* (2), 171-178. https://doi.org/10.3406/juro.2005.2817

Martin, S., Brouillet, D., & Dray, G. (2017). Living-Lab en santé et autonomie : de la procédure au processus, de l'innovation à l'énovation. In *Annales des Mines-Realites industrielles* (No. 2, pp. 37-41). FFE. https://www.cairn.info/revue-realites-industrielles-2017-2-page-37.htm

Martin S., Moinier K., Lancel S., et al. (2022). The Importance of Body and Action in the Design of Technological Devices: For an Embodied Shift as an Alternative Conceptual and Methodological Framework in Gerontechnology. *Adv Complement Alt Med.* 7(2). ACAM.000656.2022. https://doi.org/10.31031/ACAM.2022.07.000656

Maraj, B. K., & Domingue, J. A. (1999). Standing distance in climbability of stairs. *Perceptual and motor skills*, *88*(2), 682-684. https://doi.org/10.2466/pms.1999.88.2.682

Mark, L. S. (1987). Eyeheight-scaled information about affordances : a study of sitting and stair climbing. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, *13*(3), 361. https://doi.org/10.1037/0096-1523.13.3.361

McGrenere, J., & Ho, W. (2000, May). Affordances : Clarifying and evolving a concept. In *Graphics interface* (Vol. 2000, pp. 179-186).

Meunier, J. M. (2016). *Raisonnement, résolution de problèmes et prise de décision*. Dunod.

Michaels, C. F., & Carello, C. (1981). *Direct perception* (pp. 1-208). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.138.1523&rep=rep1&type=pdf.

Miller, E. (2019). Trends in Global Terrorism: Islamic State's Decline in Iraq and Expanding Global Impact; Fewer Mass Casualty Attacks in Western Europe; Number of Attacks in the United States Highest since 1980. *The National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism (START).*

Miyagawa, D., & Ichinose, G. (2020). Cellular automaton model with turning behavior in crowd evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 549,* 124376. https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124376.

Morice, A. H., Diaz, G. J., Fajen, B. R., Basilio, N., & Montagne, G. (2015). An affordance-based approach to visually guided overtaking. *Ecological Psychology*, *27*(1), 1-25. https://doi.org/10.1080/10407413.2015.991641

Moussaïd, M., Helbing, D., & Theraulaz, G. (2011). How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(17), 6884-6888. https://doi.org/10.1073/pnas.1016507108

Murrell, K. F. H. (1969). Man in his working environment. *Ergonomics, London: Chapman and Hall I, 965*.

Nilsson, D. (2009). Exit choice in fire emergencies-Influencing choice of exit with flashing lights. https://portal.research.lu.se/en/publications/exit-choice-in-fire-emergencies-influencing-choice-of-exit-with-fr

Nilsson, D., & Johansson, A. (2009). Social influence during the initial phase of a fire evacuation—Analysis of evacuation experiments in a cinema theatre. *Fire Safety Journal*, *44*(1), 71-79. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.03.008

Nilsson, D. (2009). *Exit choice in fire emergencies* (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund, Sweden). https://lucris.lub.lu.se/ws/files/5585210/1415075.pdf

Nilsson, D., Johansson, M., & Frantzich, H. (2009). Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations. *Fire Safety Journal*, *44*(4), 458-468. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.09.009

Niveleau, C. É. (2006). Le concept gibsonien d'affordance : entre filiation, rupture et Reconstruction conceptuelle. *Intellectica*, *43* (1), 159-199. https://doi.org/10.3406/intel.2006.1341

Norimatsu, M., & Pigem, N. (2008). *Les techniques d'observation en sciences humaines*. Armand Colin.

Norman, D. (1986). A. (1988). The psychology of everyday things.

Norman, D. A. (1999). Affordance, conventions, and design. *interactions*, *6*(3), 38-43. https://doi.org/10.1145/301153.301168

Olander, J., Ronchi, E., Lovreglio, R., & Nilsson, D. (2017). Dissuasive exit signage for building fire evacuation. *Applied ergonomics*, *59*, 84-93. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.029

Osiurak, F., Rossetti, Y., & Badets, A. (2017). What is an affordance? 40 years later. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *77*, 403-417. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.014

Osiurak, F., Jarry, C., & Le Gall, D. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning: toward a dialectical theory of human tool use. *Psychological review, 117*(2), 517. https://doi.org/10.1037/a0019004

Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., & Law, K. H. (2007). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *Ai & Society*, *22*(2), 113-132. https://doi.org/10.1007/s00146-007-0126-1

Pezzulo, G., Barca, L., Bocconi, A. L., & Borghi, A. M. (2010). When affordances climb into your mind: Advantages of motor simulation in a memory task performed by novice and expert rock climbers. *Brain and Cognition*, *73*(1), 68-73. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2010.03.002

Procházka, J., Cimler, R., & Olševičová, K. (2015). Pedestrian modelling in netlogo. In *Emergent Trends in Robotics and Intelligent Systems* (pp. 303-312). Springer, Cham.

Proulx, G., & Sime, J. D. (2006, February). To prevent 'panic'in an underground emergency : why not tell people the truth?. In *Fire Safety Science—Proceedings of the Third International Symposium* (pp. 843-852). Routledge.

Proulx, G., "Movement of People: the Evacuation Timing", *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, (3rd ed.)*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002, pp. 342-366

Qiang, L. I. A. N. G., & Hong-yu, J. I. N. (2011). The Study on Safety Evaluation of Evacuation in a Large Supermarket. *Procedia Engineering*, *11*, 273-279. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.657

Quarantelli, E. L. (1954). The nature and conditions of panic. *American Journal of*

Sociology, *60*(3), 267-275. https://doi.org/10.1086/221536

Raflik, J. (2016). *Terrorisme et mondialisation : approches historiques*. Gallimard. https://doi.org/10.14375/NP.9782070149285

Raflik, J. (2017). La France face au terrorisme d'hier à aujourd'hui. *Outre-Terre*, (2), 202 - 214. https://doi.org/10.3917/oute1.051.0202

Rahman, S. A. F. S. A., Maulud, K. N. A., Pradhan, B., Mustorpha, S. N. A. S., & Ani, A. I. C. (2021). Impact of evacuation design parameter on users' evacuation time using a multi-agent simulation. *Ain Shams Engineering Journal*, *12* (2), 2355-2369. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.001

Rahouti, A., Lovreglio, R., Gwynne, S., Jackson, P., Datoussaïd, S., & Hunt, A. (2020). Human behaviour during a healthcare facility evacuation drill: Investigation of pre-evacuation and travel phases. *Safety science*, *129*, 104754. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104754

Reno, R. R., Cialdini, R. B., & Kallgren, C. A. (1993). The transsituational influence of social norms. *Journal of personality and social psychology*, *64* (1), 104. https://doi.org/10.1037/0022-3514.64.1.104

Reynié, D. (2019). *Les attentats islamistes dans le monde 1979-2019* (Doctoral dissertation, Fondation pour l'innovation politique).

Reynié, D. (2021) Les attentats islamistes dans le monde 1979-2021. Fondation pour l'innovation politique. https://www.fondapol.org/app/uploads/2021/09/enquete-terrorisme-2021-cahiers-fr-2021-11-15-wg.pdf

Ronchi, E., Nilsson, D., Kojić, S., Eriksson, J., Lovreglio, R., Modig, H., Walter, A.L., 2015.

A Virtual Reality Experiment on Flashing Lights at Emergency Exit Portals for Road Tunnel Evacuation. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-015-0462-5

Scarlett, A., & Zeilinger, M. (2019). Rethinking affordance. *Media Theory*, *3*(1), 01-48. HAL Id: hal-02469419. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02469419

Seifert, L., Dicks, M., Wittmann, F., & Wolf, P. (2021). The perception of nested affordances: An examination of expert climbers. *Psychology of Sport and Exercise*, *52*, 101843. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101843

Shields, T. J., & Boyce, K. E. (2000). A study of evacuation from large retail stores. *Fire safety journal*, *35*(1), 25-49. https://doi.org/10.1016/S0379-7112(00)00013-8

Shiloh, S., Güvenç, G., & Önkal, D. (2007). Cognitive and emotional representations of terror attacks: A cross-cultural exploration. *Risk Analysis: An International Journal*, *27*(2), 397-409. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00892.x

Shipman, A., & Majumdar, A. (2018). Fear in humans: A glimpse into the crowd-modeling perspective. *Transportation research record*, *2672*(1), 183-197. https://doi.org/10.1177/0361198118787343

Sime, J. D. (1983). Affiliative behaviour during escape to building exits. *Journal of environmental psychology*, *3*(1), 21-41. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(83)80019-X

Sime, J. D. (1984). *Escape behaviour in fires: panic or affiliation*. University of Surrey (United Kingdom).

Sime, J. D. (1985). Movement toward the familiar: Person and place affiliation in a fire

entrapment setting. *Environment and Behavior*, *17*(6), 697-724. https://doi.org/10.1177/0013916585176003

Sime, J. D. (1995). Crowd psychology and engineering. *Safety science*, *21*(1), 1-14. https://doi.org/10.1016/0925-7535(96)81011-3

Simon, H. A. (1957). Models of man; social and rational.

Simpson, J., & Weiner, E. (1991). Oxford English Dictionary Oxford: Oxford University Press.

Stoffregen, T. A. (2003). Affordances are enough: Reply to Chemero et al.(2003). *Ecological Psychology*, *15*(1), 29-36. https://doi.org/10.1207/S15326969ECO1501_03

Taillandier, P., Grignard, A., Gaudou, B., & Drogoul, A. (2014). Des données géographiques à la simulation à base d'agents : application de la plate-forme GAMA. *Cybergeo : European Journal of Geography*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.26263

Tajfel, H., Turner, J. C., Austin, W. G., & Worchel, S. (1979). An integrative theory of intergroup conflict. *Organizational identity: A reader*, *56*(65), 9780203505984-16.

Taz Mc Clintock, T. J., Reinhardt-Rutland, A. H., & Leslie, J. C. (2001). A behavioural solution to the learned irrelevance of emergency exit signage.

Theos, C. (1994). *Modélisation du mouvement des personnes lors de l'évacuation d'un bâtiment à la suite d'un sinistre* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées).

Tipper, S. P., Paul, M. A., & Hayes, A. E. (2006). Vision-for-action : The effects of object

property discrimination and action state on affordance compatibility effects. *Psychonomic bulletin & review, 13* (3), 493-498. https://doi.org/10.3758/BF03193875

Treuil, J. P., Drogoul, A., & Zucker, J. D. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents : exemples commentés, outils informatiques et questions théoriques*. Dunod.

Turner, P. (2005). Affordance as context. *Interacting with computers, 17* (6), 787-800. https://doi.org/10.1016/j.intcom.2005.04.003.

Valentin, J. R. (2013). *Simulation du comportement humain en situation d'évacuation de bâtiment en feu* (Doctoral dissertation, Pau).

Valentin, J., Coudret, F., Gouardères, E., & Lefer, W. (2012). Modélisation du comportement humain pour la simulation d'évacuation de bâtiment en feu. *Revue Electronique Francophone d'Informatique Graphique, 5* (2).

Versace, R., Brouillet, D., & Vallet, G. (2018). *Cognition incarnée : Une cognition située et projetée*. Mardaga.

Vigilance attentat : les bons comportements Guide pratique pour le personnel des espaces commerciaux février 2016. https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2016/03/reagir_en_cas_dattaque_terroriste__guide_pratique_pour_le_personnel_des_espaces_commerciaux.pdf.

Warren Jr, W. H., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances. *Journal of experimental psychology: human perception and performance, 13*(3), 371. https://doi.org/10.1037/0096-1523.13.3.371

Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of*

experimental psychology: Human perception and performance, *10*(5), 683. https://doi.org/10.1037/0096-1523.10.5.683

Weisman, J. (1981). Evaluating architectural legibility: Way-finding in the built environment. *Environment and behavior*, *13*(2), 189-204. https://doi.org/10.1177/0013916581132004

Wieviorka, M. (2020). From the "classic" terrorism of the 1970s to contemporary "global" terrorism. In *Societies under threat* (pp. 75-85). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39315-1_7

Wu, X., Zheng, Y., Ye, H., Hu, W., Yang, J., & He, L. (2019, May). Adaptive scenario discovery for crowd counting. In *ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 2382-2386). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICASSP.2019.8683744

Xue, S., Jia, B., Jiang, R., & Shan, J. (2016). Pedestrian evacuation in view and hearing limited condition: The impact of communication and memory. *Physics Letters A*, *380*(38), 3029-3035. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2016.07.030

Yang, X., Dong, H., Wang, Q., Chen, Y., & Hu, X. (2014). Guided crowd dynamics via modified social force model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *411*, 63-73. https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.05.068

Yang, X., Dong, H., Yao, X., Sun, X., Wang, Q., & Zhou, M. (2016). Necessity of guides in pedestrian emergency evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *442*, 397-408. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.08.020

Yasuda, M., Wagman, J. B., & Higuchi, T. (2014). Can perception of aperture passability be

improved immediately after practice in actual passage? Dissociation between walking and wheelchair use. *Experimental Brain Research*, *232*(3), 753-764. https://doi.org/10.1007/s00221-013-3785-9

You, L., Hu, J., Gu, M., Fan, W., & Zhang, H. (2016). The simulation and analysis of small group effect in crowd evacuation. *Physics Letters A*, *380*(41), 3340-3348. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2016.08.012

Zarboutis, N., & Marmaras, N. (2007). Design of formative evacuation plans using agent-based simulation. *Safety Science*, *45*(9), 920-940. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.08.029

Zhang, X., Coates, G., & Ni, X. (2017). Agent-based modelling and simulation for lecture theatre emergency evacuation. IMT Mines Albi-Carmaux (École Mines-Télécom). https://dro.dur.ac.uk/21880/1/21880.pdf

Zhong, W., Tu, R., Yang, J. P., & Liang, T. S. (2013). Simulation of evacuation process in a supermarket with cellular automata. *Procedia Engineering*, *52*, 687-692. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.207

Zou, Q., & Chen, S. (2020). Simulation of crowd evacuation under toxic gas incident considering emotion contagion and information transmission. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *34*(3), 04020007. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000889

Liste des tableaux et des figures

Liste des figures

Figure 1. Illustration de deux affordances de portes selon Norman dans The Psychology of Everyday Things (emprunté de Norman, 1988, p.10)..... 19
Figure 2. Illustration d'un test..... 20
Figure 3. Illustration des différents éléments constitutifs d'une issue de secours 25
Figure 4. Illustration de l'affordance fonctionnelle. Combinaison d'affordances sensorielles, cognitives et physiques (adapté du modèle de Hartson, 2003) 26
Figure 5. Illustration interactive des affordances sensorielles, cognitives, physiques et fonctionnelles de Hartson (2003)..... 29
Figure 6. Illustration d'une utilisation ambiguë des signifiants couleurs peuvent induire des erreurs humaines suite à un mauvais design d'interaction..... 31
Figure 7. Illustration de l'expérience de l'influence des feux clignotants dans une expérience de choix entre deux portes dans un couloir (emprunté de Nilsson, 2009). 33
Figure 8. Illustration du processus et des étapes du « Design Thinking » selon Nielson Norman Group (Gibbons, 2016)..... 35
Figure 9. Illustration du processus de recherche de solutions des élèves ingénieurs de l'IMT adapté des étapes du design thinking..... 37
Figure 10. Illustration du dispositif expérimental (A. état passif et B. état actif)..... 44
Figure 11. La zone utilisée dans l'expérience *du Pain de mie*..... 45
Figure 12. Les conditions expérimentales 1, 4 et 7..... 46
Figure 13. Les conditions expérimentales 2, 5 et 8..... 47
Figure 14. Les conditions expérimentales 3, 6 et 9..... 47
Figure 15. Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (gauche) et l'état du dispositif (actif à gauche, passif, actif à droite). 49
Figure 16. Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (milieu) et l'état du dispositif (actif à gauche, passif, actif à droite). 51
Figure 17. Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (droite) et l'état du dispositif 53
Figure 18. La zone utilisée dans l'expérience *des Fruits et légumes*..... 57
Figure 19. Les conditions expérimentales 1, 2 et 3..... 57
Figure 20. Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif. 59
Figure 21. Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif de la porte 63

Figure 22. Illustration de la modification du visuel d'une issue de secours de l'expérience *de la truite*..... 66
Figure 23. La zone utilisée dans l'expérience *de la truite*..... 67
Figure 24. Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif. 68
Figure 25. Double élargissement de l'unité d'analyse (emprunté de Laville, 2000) 79
Figure 26. Vue générale du modèle de décision sous contraintes. 80
Figure 27. Exemple d'une simulation microscopique d'une évacuation d'urgence 82
Figure 28. Une représentation simplifiée d'un modèle à bas d'agents 85
Figure 29. L'environnement virtuel du supermarché utilisé dans la simulation multi-agents incluant les installations basses (en bleu clair) et des installations hautes (en bleu foncé), les issues de secours (en orange) et l'entrée principale (en vert)..... 91
Figure 30. Agents représentés avec les interactions Humain-Environnement avec élément de l'environnement haut et élément de l'environnement bas 92
Figure 31. Démonstration des Agents représentés avec les interactions Humain-Environnement avec élément de l'environnement haut et élément de l'environnement bas……95
Figure 32. Interface de paramétrisation sous GAMA 93
Figure 33. Répartition des « EmergencyExit » dans l'environnement virtuel du supermarché utilisé dans la simulation multi-agents..... 97
Figure 34. Représentation de l'interface de simulation lors du lancement d'un scénario..... 98
Figure 35. Illustration de l'introduction d'agents terroristes (en rouge) dans le supermarché utilisé dans la simulation multi-agents et de la population des agents (les clients en vert et jaune et les agents membres du personnel en bleu). 99
Figure 36. Démonstration vidéo de l'introduction d'agents terroristes (en rouge) dans le supermarché utilisé dans la simulation multi-agents et de la population des agents (les clients en vert et jaune et les agents membres du personnel en bleu)... 99
Figure 37. Performance moyenne d'évacuation totale des agents selon le type de scénario (en cycle)..... 100
Figure 38. Performance d'évacuation du nombre des agents évacués selon les scénarios et le temps (en cycle) 103
Figure 39. Répartition d'utilisation des issues de secours par les agents selon le scénario « Sortie la plus proche », et « Signalisation dynamique » (en nombre)..... 106

Liste des tableaux

Tableau 1. Les conditions expérimentales de l'expérience du *Pain de mie* 46
Tableau 2. Les conditions expérimentales dans l'expérience *des Fruits et légumes* 56
Tableau 3. Répartition de la population des agents générés dans l'environnement virtuel 94
Tableau 4. Les différents scénarios d'évacuation 97
Tableau 5. Les temps d'évacuation et le choix de sorties selon les différents scénarios 101

Annexes

Annexe A : Émergence de la solution de type design thinking

Afin de cerner notre problématique « Quel dispositif développer pour augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ces pas ? », nous avons proposé une approche d'innovation de type « design thinking » auprès de 42 élèves ingénieurs de l'IMT d'Ales. Le tableau 1 montre les propositions de solutions organisées autour des 5 types de solutions : solutions sonores, solutions olfactives, solutions visuelles, solutions technologiques et solutions hybrides.

Contributeurs : Nisrine AZMI - Emma LACAILLE - Charlotte QUELLEC - Gaspard THORAVAL - Saad CHIBI - Hicham DAHMOU - Yovli DUVSHANI - Alaeddine JOUDARI - Victor CHARPENTIER - Matthew SING - Pierre GUYOT - Quentin DUPUIS - Etienne CRUPEL - Ouijdane ABCHIR - Kieran MCNAMARA - Yacine MAMDOUH - Yassin ABOUTAYEB - Maël-Antoine GNANOU - Karen DUMAS Thomas GUERIN - Yoann BATTU - Mathieu POQUET - Zidu FENG - Paul EUDELINE - Basile LONGO Chongyang TAO - Martin COUTENS - Romain GROSSE - Nathan DUGOUCHET - Valentin MOINE - Clément LEMEUNIER - Thérèse LETONDOT - David ING - Zian LI - Kuo CHEN - Eliyahou GABBAY - Dylan SADOUDI - Sébastien STEMPAK - Alexis ROTUREAU - Elie LAMBEAUX - Thomas IOOS - Zisong ZHANG

Tableau A1

Les solutions proposées par les élèves de l'IMT d'l'Alès

<table>
<tr><th colspan="5">Quel dispositif développer pour augmenter les chances qu'un individu emprunte une issue de secours, et ne revienne pas sur ces pas ?</th></tr>
<tr><th colspan="5">SOLUTION SONORE</th></tr>
<tr><td>Effets sonores</td><td colspan="2">Message d'alerte sonore</td><td colspan="2">Alerte sonore</td></tr>
<tr><td>Créer des effets sonores repoussants provenant des entrées principales.</td><td colspan="2">Utiliser des repères sonores qui indiquent les sorties à prendre.</td><td colspan="2">Disposer au niveau des issues de secours des haut-parleurs dédiés à transférer des messages ou des sirènes d'alarme.</td></tr>
<tr><td>Deux systèmes audio potentiels Un système créant des bruits désagréables au niveau du danger et poussant les personnes vers la sortie. A l'opposé : un système attirant les personnes vers les issues de secours (musique).</td><td colspan="2">Créer des messages vocaux contenant des informations sur la nature de la menace et les consignes de sécurité.</td><td colspan="2" rowspan="2">Placer des sirènes, souvent associées au danger pour capter l'attention des clients.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Créer une aide vocale donne les instructions à suivre.</td></tr>
<tr><th colspan="5">SOLUTION OLFACTIVE</th></tr>
<tr><td colspan="5">Utiliser les odeurs comme canaux d'évacuation. Avec un système de soufflerie, l'objectif serait de créer un tunnel olfactif dans le bâtiment qui donnerait la direction à suivre pour se mettre en sécurité.</td></tr>
<tr><th colspan="5">SOLUTIONS VISUELLES</th></tr>
<tr><td>L'orientation de la lumière</td><td>Le contraste lumineux</td><td>La signalisation de secours</td><td>La couleur des signaux lumineux</td><td>La visibilité des issues de secours</td></tr>
<tr><td>Manipuler l'éclairage du bâtiment afin d'influencer les décisions des individus pendant leur évacuation.</td><td>Augmenter le contraste des éléments cibles dans l'environnement les rend plus simples à détecter.</td><td>Utiliser un système d'affichages volumétriques de personnes.</td><td>La couleur la plus appropriée pour mettre en évidence les issues de secours est le vert, puisqu'elle est associée à la sécurité et à l'autorisation de circuler, ayant ainsi une connotation positive en situation d'urgence, tandis que le rouge signifie qu'un danger est proche et qu'il faut s'arrêter.</td><td>Familiariser les clients avec les issues de secours (utilisation régulière lors du parcours des clients).</td></tr>
</table>

	Avoir un chemin guidé vers les issues de secours avec le bon éclairage permettra d'évacuer les personnes du bâtiment rapidement et en toute sécurité.	Utiliser des lumières sur le sol et mur qui clignotent l'une après l'autre.	On peut aller plus loin en fixant un deuxième spot d'une couleur différente (mais positive, comme du bleu clair/cyan) à côté du premier et faire clignoter en alternance les deux, pour encore faciliter l'aperçu de l'issue de secours.	Utiliser des portes de secours transparentes.
	Éteindre les lumières au niveau des sorties.	Projeter une vidéo de personnes qui courent en direction des issues de secours.	Utiliser comme couleur soit le vert qui indique la sécurité ou le rouge qui est normalement associé au danger et ces deux couleurs restent facilement identifiables par les gens.	Permettre que les issues de secours s'ouvrent automatiquement en cas de menace
	Abaisser l'intensité lumineuse pour attirer l'attention des personnes vers les sorties sûres.	Placer des panneaux des issues de secours clignotants et des chemins seront indiqués en tout lieu vers l'issue de secours la plus proche.	Placer des croix rouges sous forme de signaux lumineux (comme on peut voir dans les gares de péages) seront allumées au-dessus des caisses et donc du lieu présumé de l'incident.	
		Utiliser des images/formes de personnes fictives qui courent vers l'issue de secours.	Placer des dispositifs lumineux qui seront installés au-dessus de chaque porte du bâtiment, dont le clignotement — vert pour les issues de secours et rouge pour les entrées et sorties principales — ne s'activera qu'au déclenchement d'une alarme.	

		Placer les lumières à une hauteur adaptée au contexte, c'est-à-dire directement au-dessus des portes de secours. Cela permet de renforcer l'attirance par le symbole et d'éviter que des obstacles comme des personnes ou des meubles bloquent le champ de vision des occupants.	Placer des lumières au sol pour guider le client vers la sortie. Ces lumières clignotent tour à tour pour indiquer au client la direction à emprunter.	
	Une zone sombre représente une zone non désirable, à éviter alors qu'une zone illuminée invite les clients à y aller. La zone d'incident sera donc assombrie et les issues seront illuminées.	Utiliser des chemins de LED pour tracer le chemin au sol en fonction du danger vers les sorties en sécurité.	Des clignotements lumineux au niveau des issues de secours peuvent influencer le choix de la sortie. Les lumières devront commencer à clignoter dès l'activation de l'alarme pour que les occupants perçoivent la transition entre un état calme et un état d'urgence.	
	Répartition des zones d'éclairage	Des signaux lumineux dynamiques sur le sol et les murs		

		pour guider vers les sorties		
		Activation des flèches lumineuses selon la localisation du danger		
		Ajouter du marquage au sol, tel que des traces de pas blanches lumineuses au sol menant à la sortie de secours la plus proche. Ces traces lumineuses ne s'allumeraient que lorsqu'un incident nécessitant l'évacuation arrive, le reste du temps elles seraient pratiquement invisibles au sol.		
		Utiliser des leds pour dessiner des figures humaines		
		Tracer le chemin optimal vers les issues de secours avec des sources lumineuses verticales (sur les		

		murs) et horizontales (sur le sol) afin d'améliorer considérablement la capacité d'orientation des gens.		
		Utiliser des rubans de leds programmables collés aux étagères et synchronisés par le système d'alarme du magasin afin d'indiquer la direction de la sortie.		
		Placer des flèches lumineuses au plafond et au sol + une signalisation lumineuse et clignotante des issues		
SOLUTION TECHNOLOGIQUE				
Utiliser le smartphone				
Géolocaliser les clients	*Envoyer des notifications*	*Guider vers les sorties*		
Un système pour localiser les téléphones	Créer un système de notification qui alertera les personnes se	L'application contiendra un plan détaillé des locaux en 2D par étage avec une possibilité 3D. Les gens pourront s'y faire indiquer les issues les plus proches et le meilleur itinéraire pour s'y rendre, tout en prenant en compte la congestion de certains chemins afin d'éviter les trop grandes foules.		

portables de personnes dans un bâtiment.	trouvant exposées à un danger dans un certain périmètre.	
Une application qui permettrait de cibler tous ceux qui sont dans une zone précise du bâtiment, et ainsi adapter le message d'aide en fonction des informations dont on dispose sur le danger.	L'application pourrait notifier la nature de l'urgence (attentat, incendie, intrusion, etc.), son emplacement et les consignes correspondant. Cela permettra de commencer l'évacuation plus rapidement et d'éviter que des gens se dirigent vers le secteur de la menace.	
FORMATION		
Organiser des entrainements de mise en situation comme les exercices de réponse à une alarme dans les écoles.		Proposer plus de campagnes de sensibilisation aux évacuations d'urgence.
SOLUTIONS HYBRIDES		
Combinaison des dispositifs visuels, audio et le système de ventilation		
D'abord une alarme sonore pour prévenir l'individu d'un danger imminent. Puis, accompagner les individus avec un dispositif lumineux pour guider vers la sortie la plus proche. Le système pourra être un dispositif de fléchage lumineux tel que celui présent dans les avions. Le système de ventilation a aussi pour effet de créer un courant d'air. Or dans nos vies de tous les jours, un courant d'air se crée lorsque deux issues vers l'extérieur sont ouvertes.		

Annexe B : Matériel et méthode de l'expérience *du Pain de mie*

Configuration de la zone de l'expérience

La première expérience a été réalisée dans le rayon Boulangerie Pâtisserie libre-service (i.e., pain de mie) de l'hyper U de Mende. La zone du rayon utilisée a une superficie de 15,5 m de long, 6 m de large et une distance du sol au plafond de 11 m. Au milieu de la zone, il y a une gondole centrale de 6,30 m de long, de 0,77 m de large et de 1,80 m de haut (Figure B1).

Figure B1

La zone utilisée dans l'expérience du Pain de mie



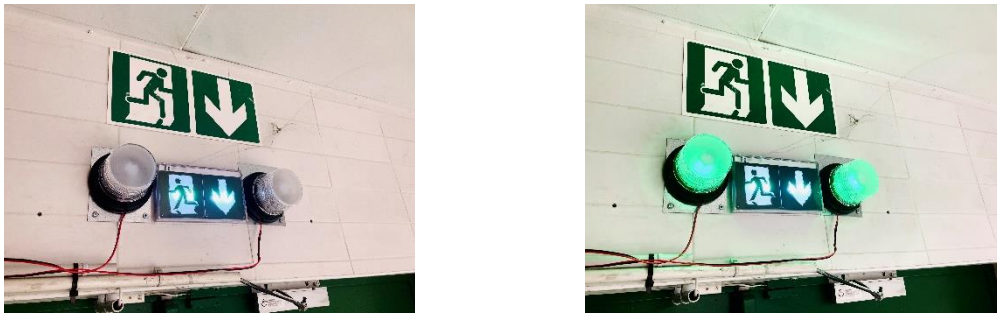
Le système de guidage

Le système de guidage utilisé dans notre expérience est un dispositif au plus proche du dispositif décrit dans l'étude de Nilsson (2009; Figure B2). Les feux clignotants de la marque

DINFU modèle E3-L étaient composés d'ampoules vertes (Figure B2). Toutes les ampoules des feux clignotants clignotaient simultanément à une fréquence de 1 Hz.

Figure B2

Illustration du dispositif expérimental (A. état passif et B. état actif)

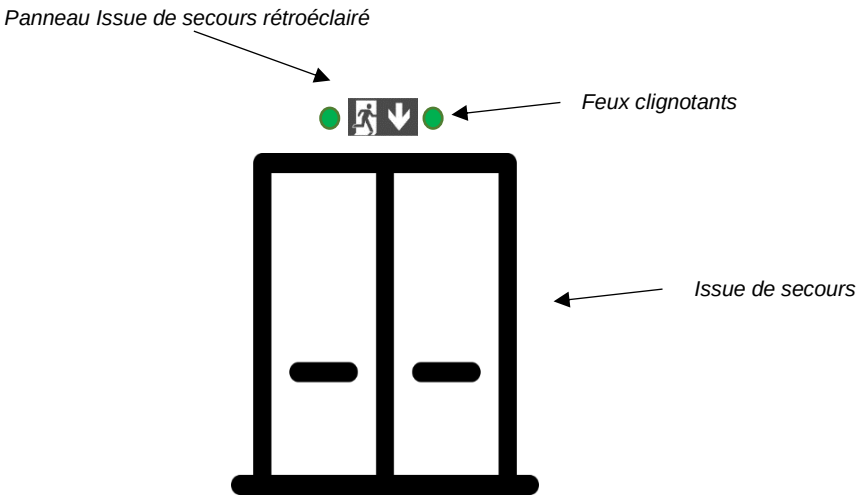


A B

Les feux clignotants sont installés de chaque côté du panneau d'issue de secours rétroéclairé au-dessus des deux issues de secours (Figure B3).

Figure B3

Schéma du dispositif expérimental



Pour l'issue de secours 1, les feux clignotants sont placés à 3,12 cm du sol. Pour l'issue de secours 2, la distance depuis le sol est de 2,30 cm (Figure B4; Figure B5).

Figure B4

Le système de guidage utilisé pour l'issue de secours 1 de l'expérience du Pain de mie



Issue de secours 1 : état passif du dispositif



Issue de secours 1 : état actif du dispositif

Figure B5

Le système de guidage utilisé pour l'issue de secours 2 de l'expérience du Pain de mie



Issue de secours 2 : état passif du dispositif



Issue de secours 2 : état actif du dispositif

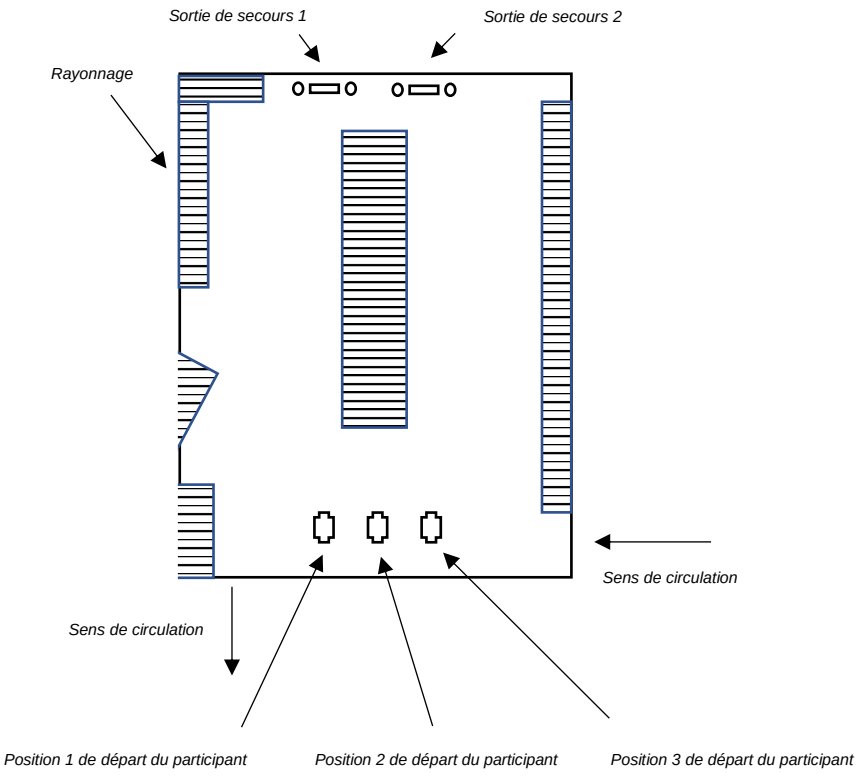
La position 1 est située face à la porte d'issue de secours à une distance de 13 m. La position 2 est à égale distance entre la position 1 et la position 3 (2 m), placée face aux deux portes de secours et à égale distance des 2 portes (13,25 m).

La position de départ du participant

Dans l'expérience *du Pain de mie*, il y a trois possibilités de positions de départ du participant au début de l'expérience (Figure B6). La position 1 est située face à la porte d'issue de secours à une distance de 13 m. La position 3 est située face à la porte d'issue de secours à une distance de 13 m. La position 2 est à égale distance entre la position 1 et la position 3 (2 m), placée face aux deux portes de secours et à égale distance des 2 portes (13,25 m).

Figure B6

Schéma du rayon utilisé dans l'expérience du Pain de mie



Annexe C : Les résultats de l'expérience *du Pain de mie*

Plan expérimental

Le choix de sortie des participants (gauche, droite) est soumis à deux variations principales, à savoir l'état du système de guidage avec trois modalités (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif) et la position de départ du participant avec trois modalités (gauche, milieu, droite) comme facteur inter-sujets. Le plan expérimental de notre expérience est le suivant :

$$S_{16}<position_3*Guidage_3>$$

La combinaison des différentes variables a donné lieu à 9 conditions expérimentales (Tableau C1).

Tableau C1

Les conditions expérimentales de l'expérience du Pain de mie

Position de départ	**Système de guidage**	
	Porte de secours 1	Porte de secours 2
1. Gauche	actif	passif
2. Milieu	actif	passif
3. Droite	actif	passif
4. Gauche	passif	actif
5. Milieu	passif	actif
6. Droite	passif	actif
7. Gauche	passif	passif
8. Milieu	passif	passif
9. Droite	passif	passif
Nombre total de participants	16*9	

Analyses statistiques

Afin d'étudier la relation entre l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite), le positionnement de départ du participant (gauche) et le choix de la porte (gauche, droite) dans chacune des conditions expérimentales, des tests de khi deux d'indépendance ont été menés à l'aide du logiciel R Studio.

Si le khi deux d'indépendance est significatif, nous indiquerons la valeur du V de cramer suivant les seuils d'intensité de la relation entre les variables suivantes : <.10 (relation nulle ou très faible), >.10 et >.20 (relation faible), >.20 et >.30 (relation moyenne) et >.30 (relation forte).

Résultats

Le tableau suivant indique le choix de sortie des participants (n, %) ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ et l'état du dispositif (Tableau C2).

Tableau C2

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ et de l'état du dispositif.

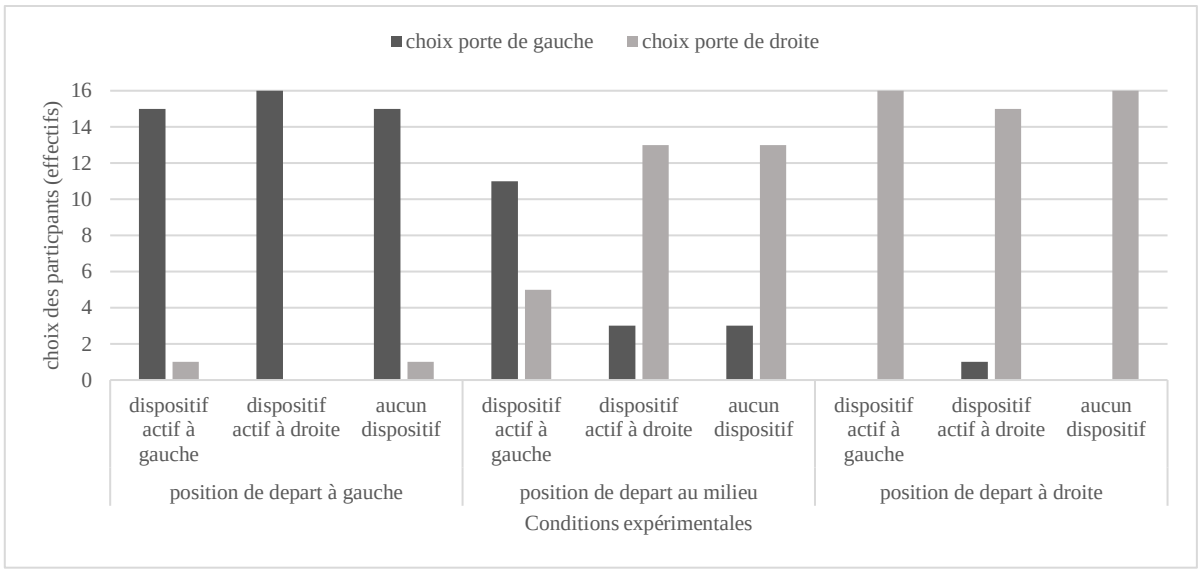
Position de départ	État du dispositif	Choix du participant	
		Choix à de la porte de gauche	Choix à de la porte de droite
		n (%)	n (%)
Gauche	Total n=48	46 (95,83)	2 (4,17)
	Dispositif actif à gauche (n=16)	15 (93.75)	1 (6.25)
	Dispositif actif à droite (n=16)	16 (100)	0 (0)
	Dispositif passif (n=16)	15 (93.75)	1 (6.25)
Milieu	Total n=48	17 (35,42)	31 (64,58)

	Dispositif actif à gauche (n=16)	11 (68.75)	5 (31.25)
	Dispositif actif à droite (n=16)	3 (18.75)	13 (81.25)
	Dispositif passif (n=16)	3 (18.75)	13 (81.25)
Droite	Total n=48	1 (2,08)	47 (97,92)
	Dispositif actif à gauche (n=16)	0 (0)	16 (100)
	Dispositif actif à droite (n=16)	1 (6.25)	15 (93.75)
	Dispositif passif (n=16)	0 (0)	16 (100)

La figure C1 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ et l'état du dispositif.

Figure C1

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ et de l'état du dispositif



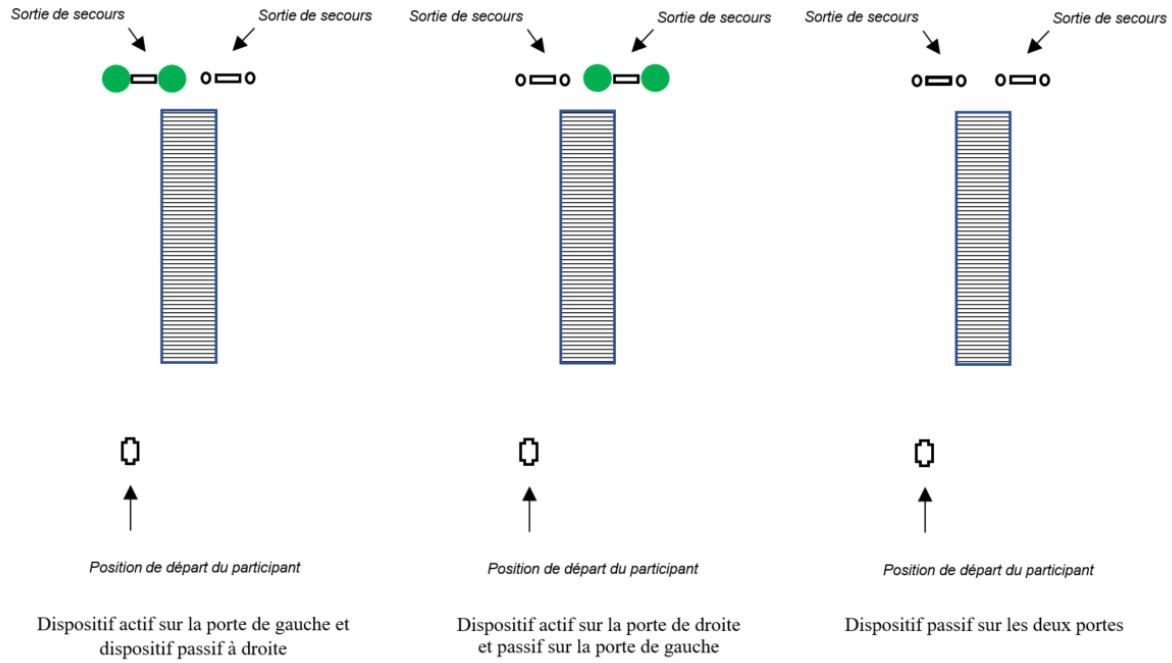
Afin d'observer si le dispositif actif a une influence sur le choix de sortie des participants par rapport au dispositif passif, nous analyserons les résultats selon les trois positions de départ du participant comme suit : 1) position de départ à gauche, 2) position de départ au milieu et 3) position de départ à droite.

Condition : départ face à la porte de gauche

La figure C2 montre la position du participant (gauche) selon les trois modalités de la variable indépendante de l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).

Figure C2

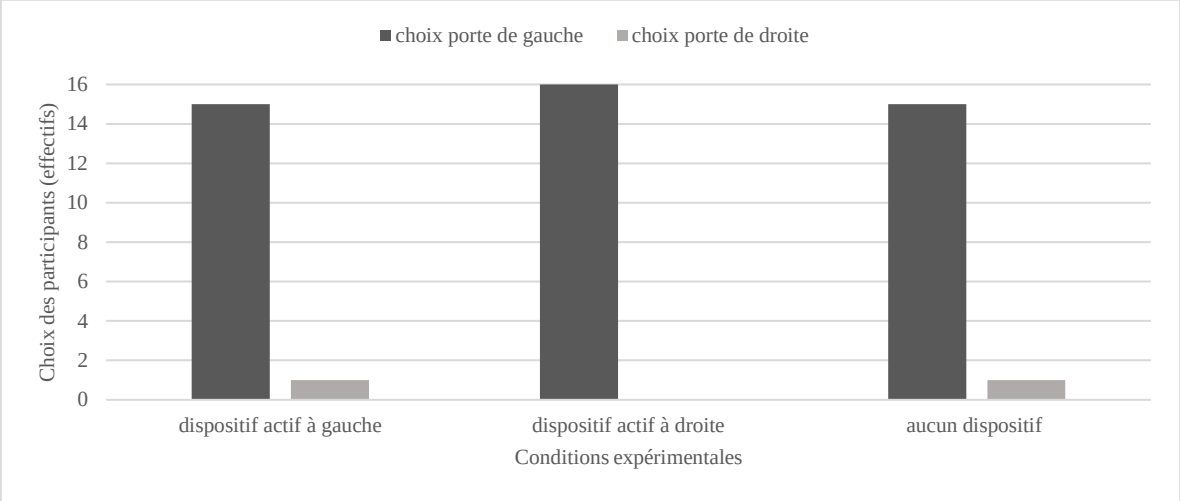
Schéma de la position du participant (gauche) selon les trois modalités de la variable indépendante de l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).



La figure C3 suivante montre indique le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ (gauche) et l'état du dispositif (figure C3).

Figure C3

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (gauche) et l'état du dispositif



Nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants (gauche, droite) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) : les résultats ne montrent aucune relation significative entre ces variables. En effet, les participants se dirigent quasi exclusivement vers la gauche, et cela indépendamment de la position (i.e., gauche, droite) du dispositif actif (respectivement, n = 15, 93.75 % ; n = 16, 100 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = 1).

Nous avons effectué une deuxième analyse afin de comparer les choix des participants en condition contrôle (i.e., dispositif passif) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) : Quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à gauche, on observe une tendance des participants à se diriger vers la porte de gauche et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à gauche) du dispositif (respectivement, n = 15, 93.75 % ; n = 15, 93.75 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = .1). Quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à droite, on observe aussi une tendance des participants à se diriger vers la porte de gauche et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à droite) du dispositif (respectivement, n = 15, 93.75 % ; n = 16, 100 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = .1).

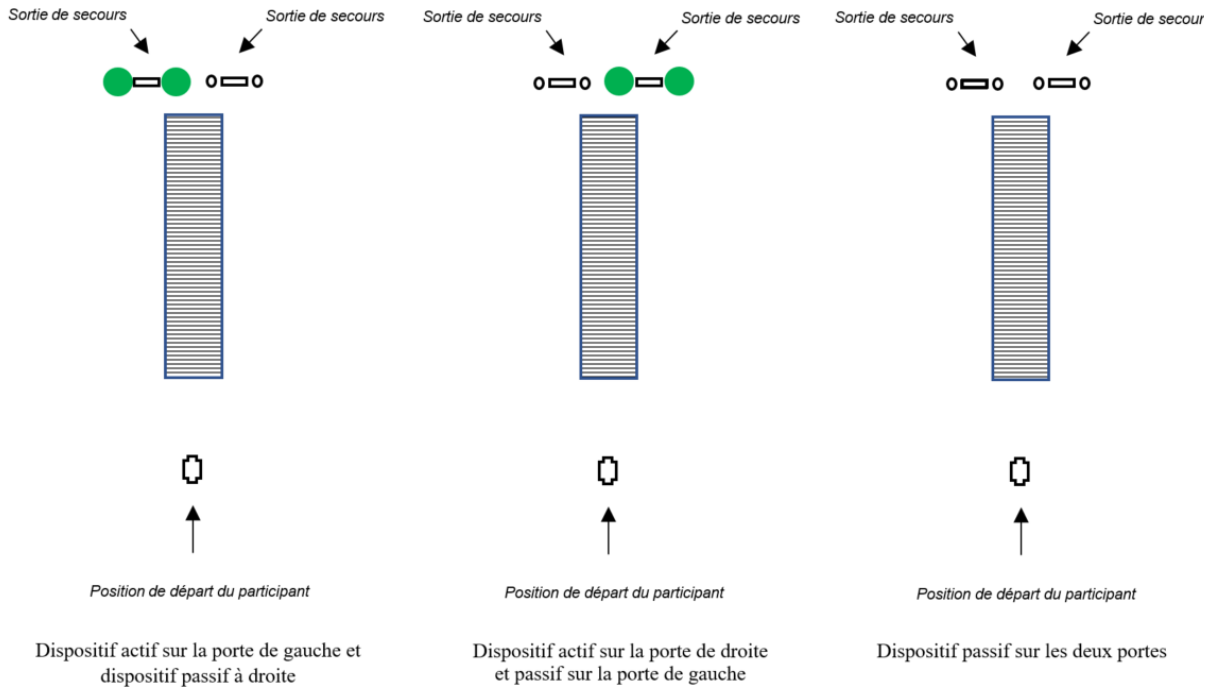
Dans la condition « position de départ à gauche », contrairement à notre hypothèse, nous pouvons constater que l'emplacement du dispositif actif (gauche, droite) ou l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif) n'influence pas le choix des participants : peu importe le côté où le dispositif est actif, ils se dirigeront quasi exclusivement vers la porte en face d'eux.

Condition : départ entre les deux portes

La figure C4 montre la position du participant (milieu) selon les trois modalités de la variable indépendante de l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).

Figure C4

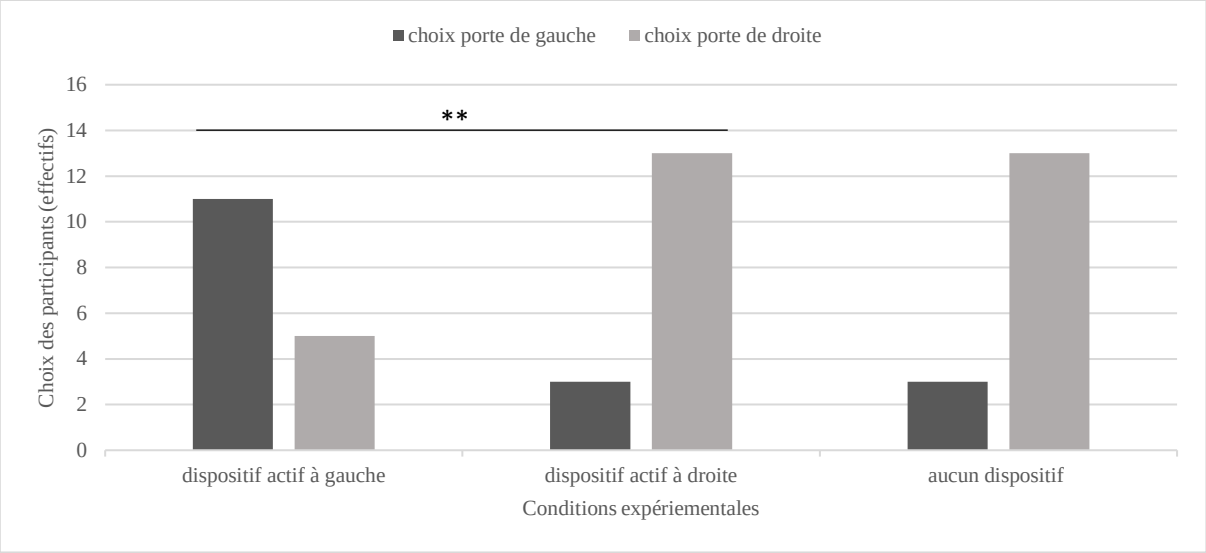
Schéma de la position du participant (milieu) selon les trois modalités de la variable indépendante de l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif)



La figure C5 suivante montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ (milieu) et l'état du dispositif (figure C5).

Figure C5

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (milieu) et l'état du dispositif



Note. * p < .05. ** p < .01. *** p < .001.

Nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants (gauche, droite) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) : Les résultats montrent une relation significative entre ces variables. En effet, les participants se dirigent majoritairement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche, et inversement les participants se dirigent majoritairement vers la droite quand le dispositif est actif à droite (respectivement, n = 11, 68.75 % ; n = 13, 81.25 %). Les résultats montrent une relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 6,22, p = .01.

De plus, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30. Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous pouvons constater que l'état du dispositif influence le choix des participants.

Nous avons effectué une deuxième analyse afin de comparer les choix des participants en condition contrôle (i.e., dispositif passif) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) : quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à gauche, on observe une tendance des participants à se diriger vers la porte de droite quand le dispositif est passif, et inversement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche (respectivement, n = 13, 81.25 % ; n = 11, 68.75 %). Les résultats montrent une relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 6.22, p = .01. De plus, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme fort compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30. Quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à droite, on observe une tendance des participants à se diriger vers la porte de droite et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à droite) du dispositif (respectivement, n = 13, 81.25 % ; n =13, 81.25 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = 1).

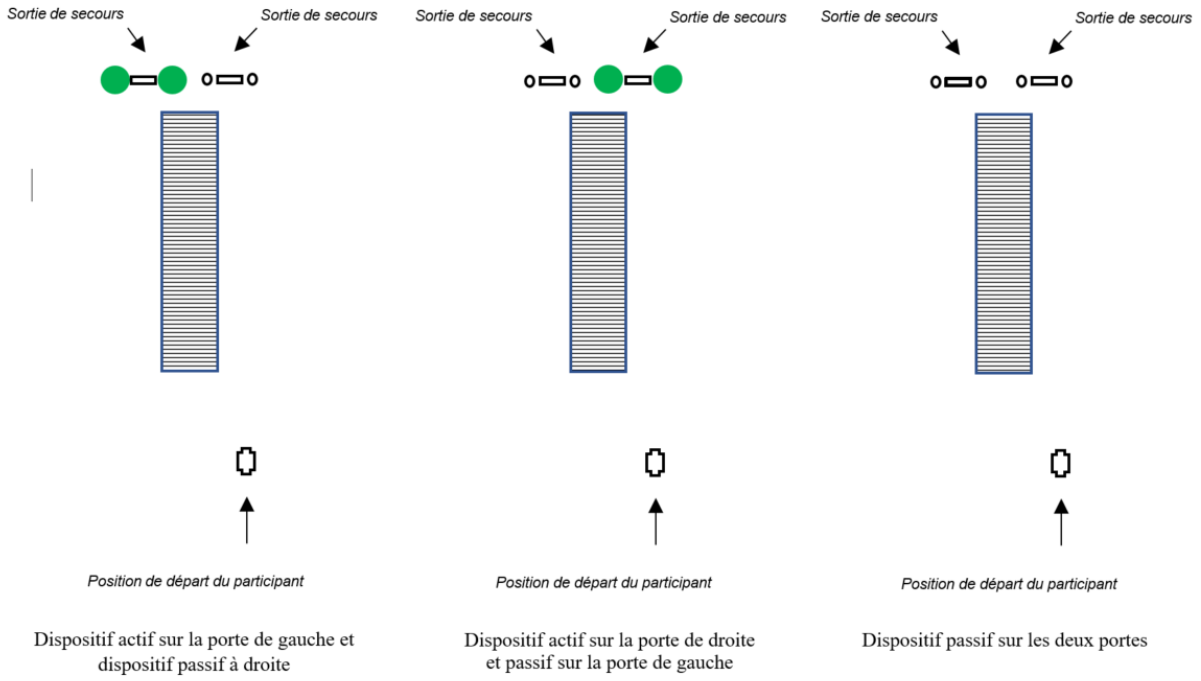
Dans la condition « position du milieu », conformément à notre hypothèse, nous pouvons constater que l'emplacement du dispositif actif (gauche, droite) et l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif) influencent le choix des participants.

Condition : départ face à la porte de droite

La figure C6 montre la position du participant (droite) selon les trois modalités de la variable indépendante de l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).

Figure C6

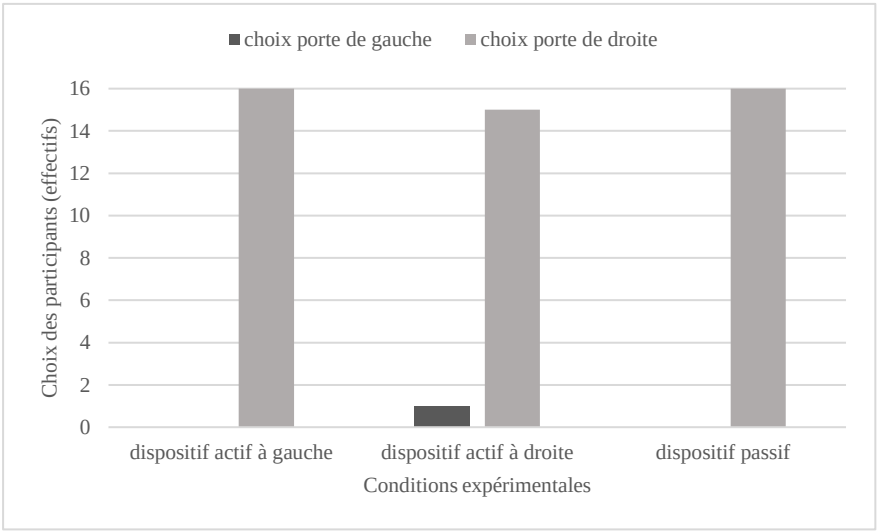
Schéma de la position du participant (droite) selon les trois modalités de la variable indépendante de l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).



La figure C7 suivante montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ (droite) et l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).

Figure C7

Choix de sortie des participants en fonction de la position de départ (droite) et l'état du dispositif



Nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants (gauche, droite) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) : les résultats ne montrent aucune relation significative entre ces variables. En effet, les participants se dirigent quasi exclusivement vers la droite, et cela indépendamment de la position (i.e., gauche, droite) du dispositif actif (respectivement, n = 15, 93.75 % ; n = 16, 100 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = 1).

Nous avons effectué une deuxième analyse afin de comparer les choix des participants en condition contrôle (i.e., dispositif passif) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) : quand on compare la condition de contrôle à la condition dispositif actif à gauche, les résultats montrent une tendance des participants à se diriger vers la porte de droite et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à gauche) du dispositif (respectivement, n = 16, 100 % ; n = 15, 68.75 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = 1). Quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à droite, les résultats révèlent aussi une tendance des participants à se diriger vers la porte de droite et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à droite) du dispositif (respectivement, n = 16, 100 % ; n=15, 93.75 % ; X^2 (1, N = 48) = 0, p = 1).

Ainsi dans la condition « position de départ à droite », contrairement à notre hypothèse, nous pouvons constater que l'emplacement du dispositif actif (gauche, droite) ou l'état du dispositif (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif) n'influence pas le choix des participants : peu importe le côté où le dispositif est actif, ils se dirigeront quasi exclusivement vers la porte en face d'eux

.

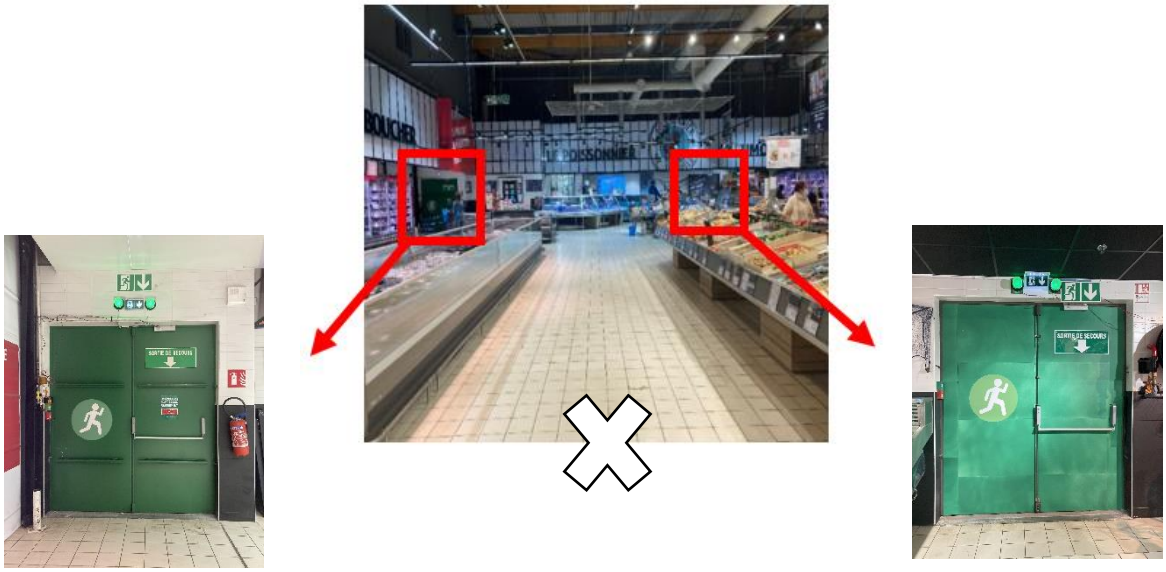
Annexe D : Matériel et méthode de l'expérience *des Fruits et légumes*

Configuration du rayon

L'expérience a été réalisée entre le rayon Boucherie/Poissonnerie/Fruits et légumes du supermarché de l'hyper U de Mende (figure 13). La zone utilisée à une superficie de 46,5 de long, 19,30 m de large et une distance du sol au plafond de 11 m. Le rayon est à une distance en moyenne de 77,5 m de l'entrée principale (Figure D1).

Figure D1

La zone utilisée dans l'expérience des Fruits et légumes



Issue de secours

Issue de secours modifiée

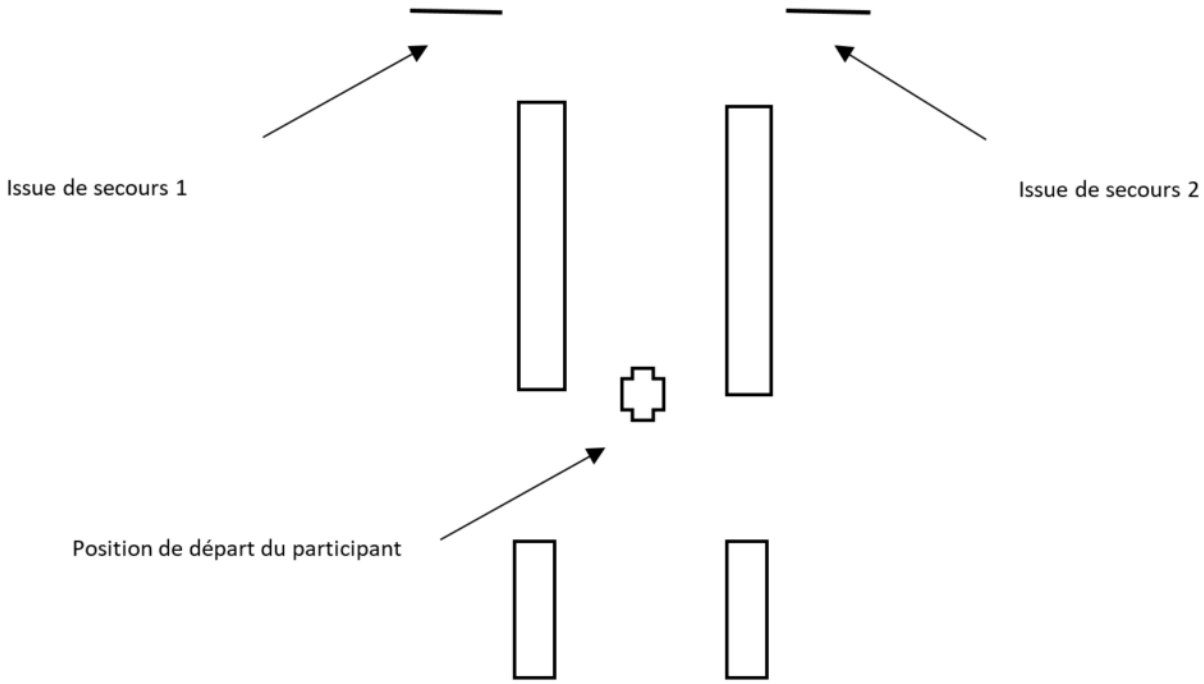
La position de départ

Dans l'expérience *des Fruits et légumes*, il y a une unique position du participant au début de l'expérience. La position du participant est située face aux deux portes d'issue de

secours de la zone, à égale distance entre la porte d'issue de secours placé à gauche du participant et la porte d'issue de secours de droite du participant : 15,5 m (Figure D2).

Figure D2

Schéma du rayon utilisé pour l'expérience des Fruits et légumes



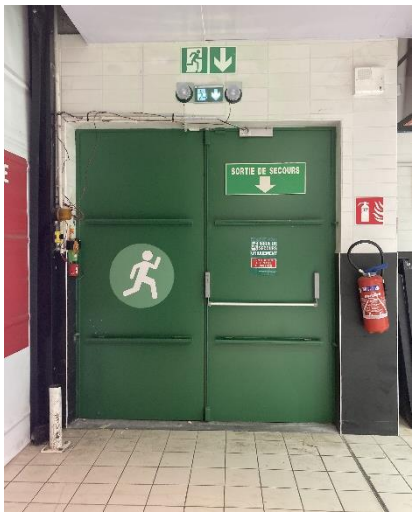
Le système de guidage

Le dispositif est identique à l'expérience *du Pain de mie* (section 2.1). Pour rappel, le système de guidage utilisé dans notre expérience est un dispositif au plus proche du dispositif décrit dans l'étude de Nilsson (2009). Les feux clignotants de la marque DINFU modèle E3-L étaient composés d'ampoules vertes. Les feux clignotants sont installés de chaque côté du panneau d'issue de secours rétroéclairé au-dessus de l'issue de secours 1 (Figure D3) et de l'issue de secours 2 (Figure D4). Le dispositif est identique pour les deux portes d'issues de secours. Pour l'issue de secours 1, les feux clignotants sont placés à 235,5 cm du sol; pour

l'issue de secours 2, la distance depuis le sol est de 242 cm. Toutes les ampoules des feux clignotants clignotaient simultanément à une fréquence de 1 Hz.

Figure D3

Le système de guidage utilisé pour l'issue de secours 1 de l'expérience des Fruits et légumes



Issue de secours 1 : état passif du dispositif



Issue de secours 1 : état actif du dispositif

Figure D4

Le système de guidage utilisé pour l'issue de secours 2 de l'expérience des Fruits et légumes



Issue de secours 2 : état passif du dispositif



Issue de secours 2 : état actif du dispositif

Annexe E : Les résultats de l'expérience *des Fruits et légumes*

Plan expérimental

Le choix de sortie des participants (gauche, droite) est soumis à une variable interindividuelle principale, à savoir l'état du système de guidage avec trois modalités (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif). Le plan expérimental de notre expérience est le suivant :

$$S_{24}\text{<Guidage}_{3>}$$

La combinaison des différentes modalités de la variable (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif) a donné lieu à trois conditions expérimentales (Tableau E1).

Tableau E1

Les conditions expérimentales pour l'expérience des Fruits et légumes

		Type de sortie	
		Porte de secours 1	Porte de secours 2
		actif	passif
Système de guidage		passif	actif
		passif	passif
Nombre total de participants	24*3		

Analyses statistiques

Afin d'étudier la relation entre l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite) et le choix de la porte (gauche, droite) dans chacune des conditions expérimentales, des tests de khi deux d'indépendance ont été menés à l'aide du logiciel R Studio.

Si le khi deux d'indépendance est significatif, nous indiquerons la valeur du V de cramer suivant les seuils d'intensité de la relation entre les variables suivantes : <.10 (relation nulle ou très faible), >.10 et >.20 (relation faible), >.20 et >.30 (relation moyenne) et >.30 (relation forte).

Résultats

Le tableau suivant indique le choix de sortie des participants (n, %) ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ et l'état du dispositif (Tableau E2).

Tableau E2

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif

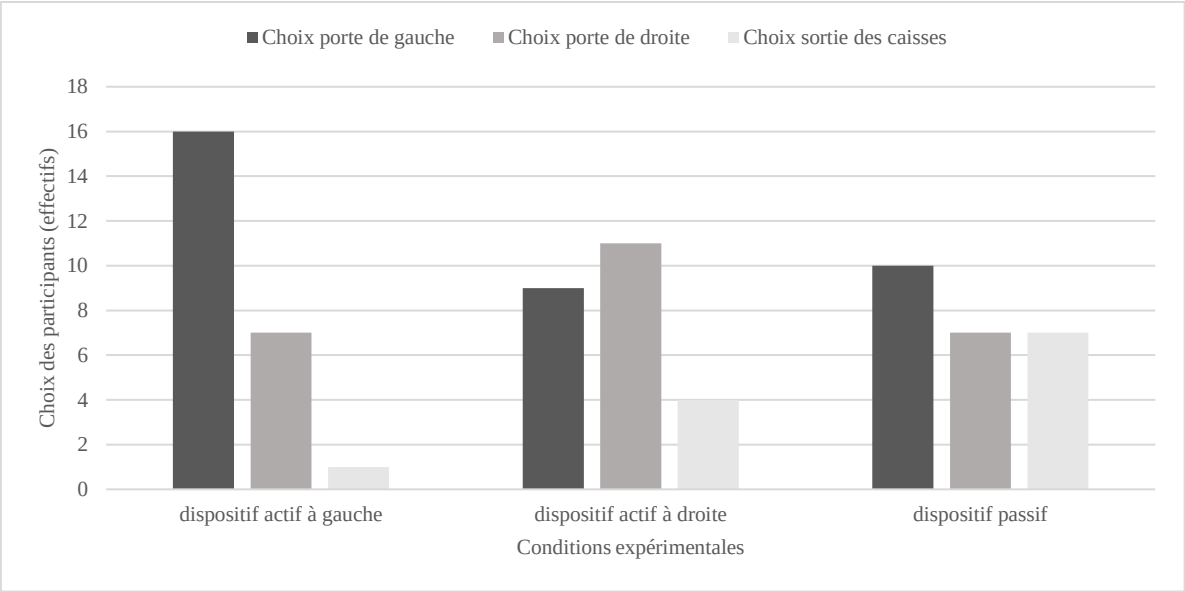
Dispositif	Choix de sortie		
	Choix à de la porte de gauche	Choix à de la porte de droite	Choix de la sortie des caisses
	n (%)	n (%)	n (%)
Dispositif actif à gauche N=24	16 (66.66)	7 (29.16)	1 (4.16)
Dispositif actif à droite N=24	9 (37.5)	11 (45.83)	4 (16.66)
Dispositif passif N=24	10 (41.66)	7 (29.16)	7 (29.16)
Total	35 (48,61)	25 (34,72)	12 (16,66)

Afin d'observer si le dispositif actif a une influence sur le choix de sortie des participants par rapport au dispositif passif, nous analyserons les résultats selon les trois conditions du dispositif comme suit : 1) dispositif à actif à gauche, 2) dispositif actif à gauche et 3) dispositif passif.

La figure E1 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de l'état du dispositif.

Figure E1

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif



Comparaison deux à deux des choix de sorties selon les 3 conditions (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif).

Nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants (gauche, droite) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite). Les résultats ne montrent aucune relation significative entre ces variables. En effet, les participants se dirigent quasi majoritairement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche, et inversement les participants ont tendance à se diriger vers la droite quand le dispositif est actif à droite (respectivement, n = 16, 66.66 % ; n = 11, 45.83 % ; X^2 (1, N = 48) = 1.74, p =.19)

Nous avons effectué une deuxième analyse afin de comparer les choix des participants en condition contrôle (i.e., dispositif passif) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) :

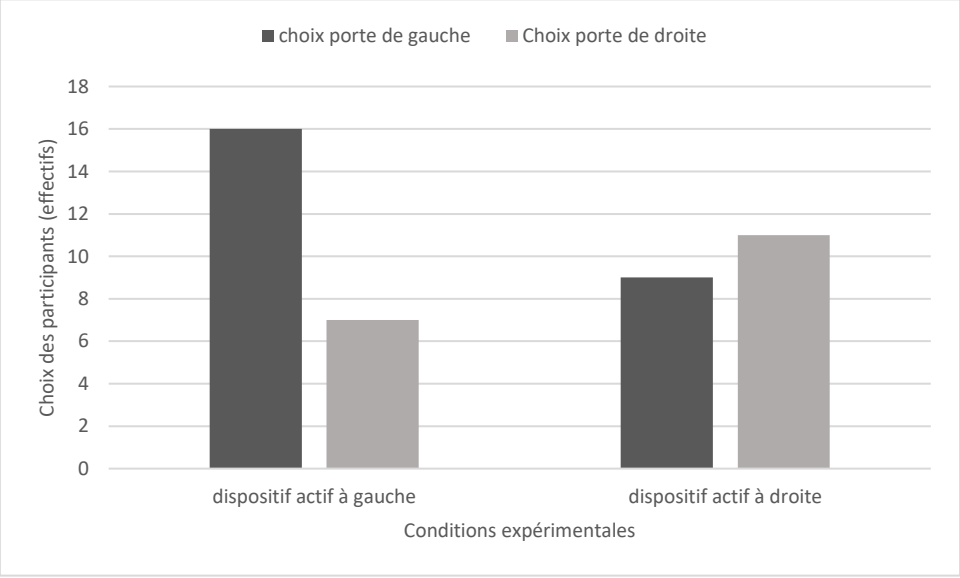
- ***Quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à gauche***, les résultats montrent une tendance des participants à se diriger vers la porte de gauche et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à gauche) du dispositif (respectivement, n = 10, 41.61 % ; n=16, 66.67 % ; X^2 (1, N = 48) = 0.14, p = .71).

- ***Quand on compare la condition contrôle à la condition dispositif actif à droite***, les résultats montrent aussi une tendance des participants à se diriger vers la porte de gauche et cela indépendamment de la position (i.e., passif, actif à droite) du dispositif (respectivement, n = 10, 48.61 % ; n=11, 45.83 % ; X^2 (1, N = 48) = 0.26, p =.61).

La figure suivante (Figure E2) montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite).

Figure E2

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif de la porte



Nous avons observé un comportement inattendu chez nos participants : une certaine partie d'entre eux ont exprimé la volonté de revenir sur leurs pas pour se diriger vers l'entrée principale du magasin. Nous avons donc décidé d'intégrer ce comportement à nos analyses. Et ainsi la relation entre l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite), et le choix de la porte (gauche, droite, sortie des caisses) a été examinée :

- ***Quand le dispositif est actif à gauche***, les participants ont tendance à plus se diriger vers la gauche que vers la sortie des caisses (respectivement, n = 16, 66.67 % ; n = 1, 4.16 %). Et quand le dispositif est passif, les participants se dirigent moins vers la gauche et plus vers la sortie des caisses (respectivement, n = 10, 41.67 % ; n = 7, 29.17 %). Les résultats montrent une relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 4.09, p =.04. Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous constatons que l'état du dispositif influence le choix des participants. Cependant, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme faible compte tenu de la valeur du V de Cramer comprise entre .10 et .20.

- ***Quand le dispositif est actif à droite***, les participants ont tendance à plus se diriger vers la droite que vers la sortie des caisses (respectivement, n = 11, 45.83 % ; n = 4, 16.67 %). Et quand le dispositif est passif, les participants se dirigent moins vers la droite et plus vers la sortie des caisses (respectivement, n = 7, 29.17 % ; n = 7, 29.17 %). Les résultats ne montrent pas de relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 0,83, p =.36.

L'expérience *des Fruits et légumes* montre que les clients privilégient la sortie par la porte qui clignote lorsque c'est à gauche en revanche les résultats sont plus ambiguës pour la porte de droite.

Annexe F : Les résultats de l'expérience *des Fruits et légumes modifiée*

Plan expérimental

Le choix de sortie des participants (gauche, droite) est soumis à une variable interindividuelle principale, à savoir l'état du système de système de guidage avec trois modalités (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif). Le plan expérimental de notre expérience est le suivant :

$$S_{72}<Guidage_{3>}$$

La combinaison des différentes modalités de la variable (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite, dispositif passif) a donné lieu à trois conditions expérimentales (Tableau F1).

Tableau F1

Les conditions expérimentales pour l'expérience des Fruits et légumes modifiée

	Type de sortie	
	Porte de secours 1	Porte de secours 2
Système de guidage	actif	passif
	passif	actif
	passif	passif
Nombre total de participants	24*3	

Analyses statistiques

Afin d'étudier la relation entre l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite) et le choix de la porte (gauche, droite) dans chacune des conditions expérimentales, des tests de khi deux d'indépendance ont été menés à l'aide du logiciel R Studio.

Si le khi deux d'indépendance est significatif, nous indiquerons la valeur du V de cramer suivant les seuils d'intensité de la relation entre les variables suivantes : <.10 (relation nulle ou très faible), >.10 et >.20 (relation faible), >.20 et >.30 (relation moyenne) et >.30 (relation forte).

Résultats

Le tableau suivant indique le choix de sortie des participants (n, %) ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ et l'état du dispositif (Tableau F2).

Tableau F2

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif

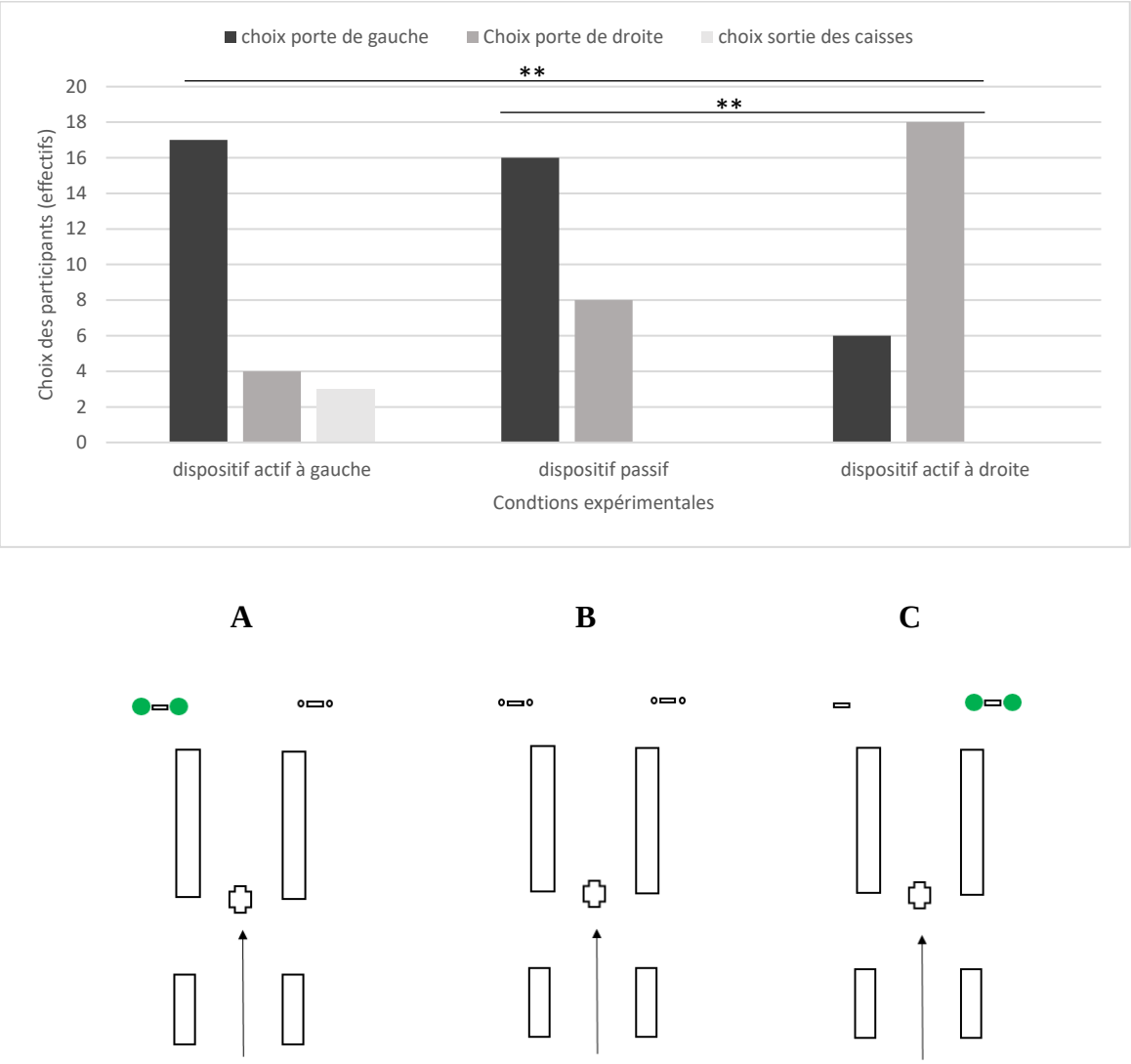
Dispositif	Choix de sortie		
	Choix à de la porte de gauche	Choix à de la porte de droite	Choix de la sortie des caisses
	n (%)	n (%)	n (%)
Dispositif actif à gauche N=24	17 (70.83)	4 (16.67)	3 (12.5)
Dispositif actif à droite N=24	6 (25)	18 (75)	0 (0)
Dispositif passif N=24	16 (66.67)	8 (33.33)	0 (0)
Total	39 (54,17)	30 (41,67)	3 (4,17)

Afin d'observer si le dispositif actif a une influence sur le choix de sortie des participants par rapport au dispositif passif, nous analyserons les résultats selon les trois conditions du dispositif comme suit : 1) dispositif à actif à gauche, 2) dispositif actif à gauche et 3) dispositif passif.

La figure F1 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite, passif).

Figure F1

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif de la porte



Note. * p < .05. ** p < .01. *** p < .001.

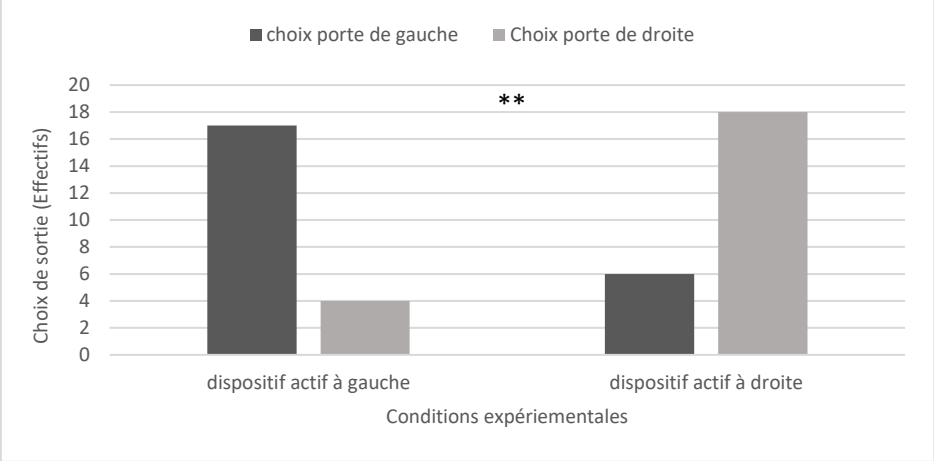
Dans un premier temps, nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants (gauche, droite) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche [A], dispositif actif à droite [C]) :

- *Actif à gauche versus actif à gauche (A versus C)* : les résultats montrent que les participants se dirigent quasi majoritairement vers la gauche quand le dispositif est actif à gauche, et inversement les participants ont tendance à se diriger vers la droite quand le dispositif est actif à droite (respectivement, n = 17, 70.83 % ; n = 18, 75 %). Les résultats montrent une relation significative entre ces variables : X^2 (1, N = 48) = 6.91, p <.01. Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous constatons que l'état du dispositif influence le choix des participants. De plus, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30.

La figure F2 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite)

Figure F2

Choix de sortie des participants en fonction de l'emplacement du dispositif actif



Note. * p < .05. ** p < .01. *** p < .001.

Dans un second temps, nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants en condition contrôle (i.e., dispositif passif) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche, dispositif actif à droite) :

- ***Actif à gauche versus passif (A versus B)*** : quand on compare le dispositif passif au dispositif actif à gauche, les résultats montrent une tendance des participants à se diriger vers la porte de gauche et cela indépendamment de la position du dispositif (respectivement, n = 16, 66.66 %; n = 17, 70.83 % ; X^2 (1, N = 48) = 0.55, p = .46).

- ***Actif à droite versus passif (C versus B)*** : quand on compare le dispositif à droite au dispositif passif, on observe une tendance des participants à se diriger vers la porte de gauche quand le dispositif est passif, et inversement les participants ont tendance à se diriger vers la droite quand le dispositif est actif à droite (respectivement, n = 16, 66.66 % ; n = 18, 75 %). Les résultats montrent une relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 6.79, p <.01. Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous constatons que l'état du dispositif influence le choix des participants. De plus, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est de plus considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer >.30.

L'expérience *des Fruits et légumes* modifiée montre que les clients privilégient de sortir par la porte qui clignote lorsque la porte clignote à gauche et aussi lorsque la porte clignote à droite.

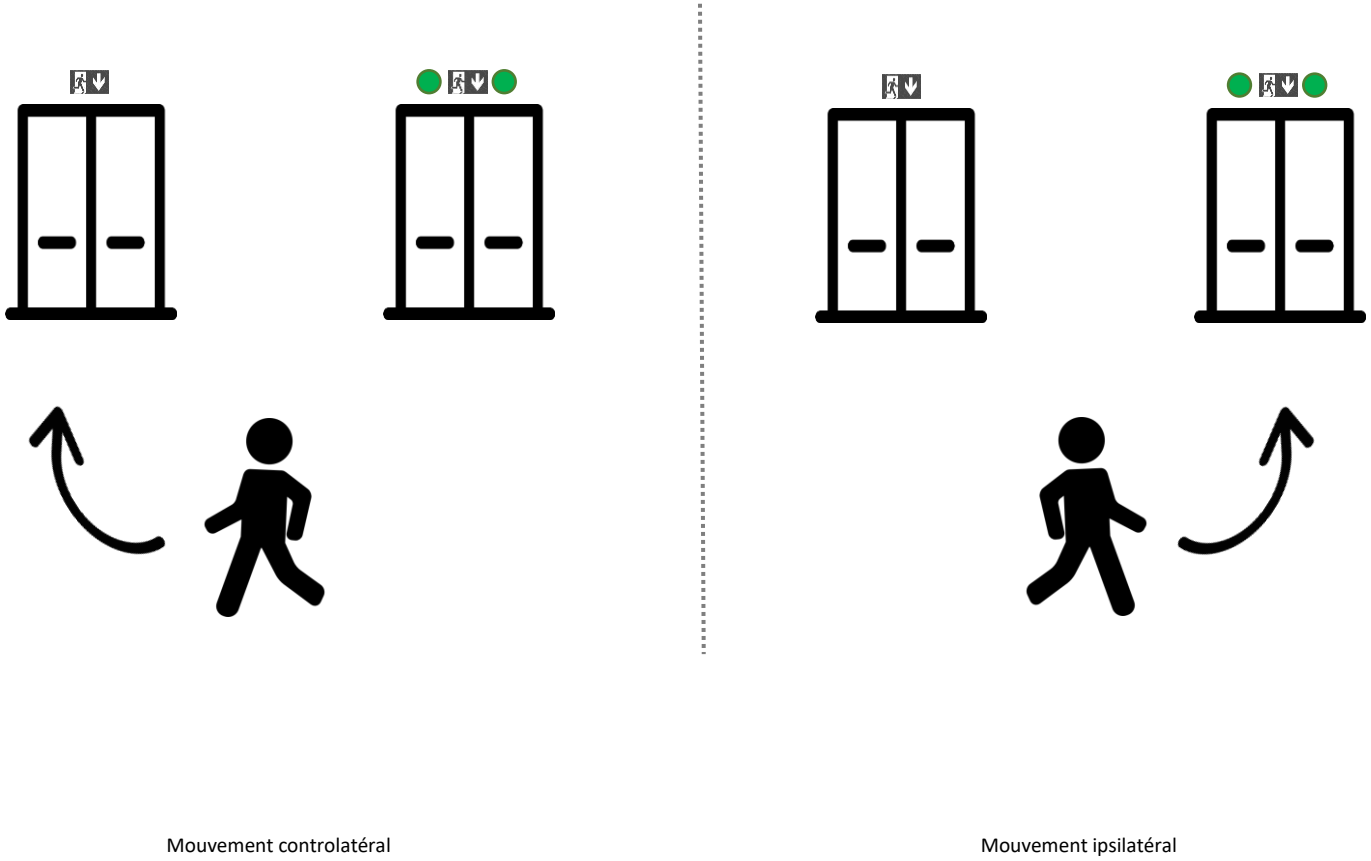
Annexe G : Comparaison des résultats des expériences *des Fruits et légumes* et *des Fruits et légumes modifiée*

Pour aller plus loin, nous nous sommes intéressés au choix des participants en termes de mouvements ipsilatéraux et controlatéraux en comparant les résultats des deux expériences (Expérience *des Fruits et légumes* et Expérience *des Fruits et légumes modifiée*).

La figure G1 montre le mouvement ipsilatéral et controlatéral du participant selon l'emplacement du dispositif actif.

Figure G1

Illustration du mouvement controlatéral (non congruent avec le dispositif actif) et mouvement ipsilatéral (congruent avec le dispositif actif)



Mouvement controlatéral

Mouvement ipsilatéral

Le tableau suivant montre le choix de sortie des participants (n, %) ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction des expériences (expérience *des Fruits et légumes*, expérience *des Fruits et légumes modifiée*) et selon l'état du dispositif (ipsilatéral, controlatéral, aucun).

Tableau G1

Choix de sortie des participants en fonction des expériences et l'emplacement du dispositif

	Choix de sortie				
	Ipsilatéral		Controlatéral		Aucun
Dispositif	Dispositif actif à gauche Ipsilatéral A^+	Dispositif actif à droite Ipsilatéral A^-	Dispositif actif à gauche Controlatéral A^+	Dispositif actif à droite Controlatéral A^-	
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Expérience 2 N=48	16 (33,33)	11 (22,92)	9 (18,75)	7 (14,58)	5 (10,42)
Expérience 3 N=48	17 (35,42)	18 (37,5)	6 (12,5)	4 (8,33)	3 (6,25)
Total	33 (34,37)	29 (30,21)	15 (15,62)	11 (11,46)	8 (8,33)

Les résultats de l'expérience *des Fruits et légumes* montrent que les participants ont tendance à faire majoritairement un mouvement ipsilatéral vers le dispositif quand il est actif à gauche (n = 16, 33.33 %) et quand le dispositif est actif à droite (n = 11, 22.92 %). En comparaison avec l'expérience *des Fruits et légumes* modifiée, on observe la même tendance majoritaire à faire un mouvement ipsilatéral quand le dispositif est actif à gauche (n = 17, 35.42 %). Cependant, dans l'expérience *des Fruits et légumes* modifiée, on observe une augmentation du mouvement ipsilatéral quand le dispositif est actif à droite (n = 18, 37.5 %) par rapport à l'expérience *des Fruits et légumes* (n = 11, 22.92 %).

Figure G2

Choix de sortie des participants des expériences (expérience des Fruits et légumes, expérience des Fruits et légumes modifiée) selon l'emplacement du dispositif actif à gauche (ipsilatéral A^+, controlatéral A^+) et actif à droite (ipsilatéral A^- et controlatéral A^-)

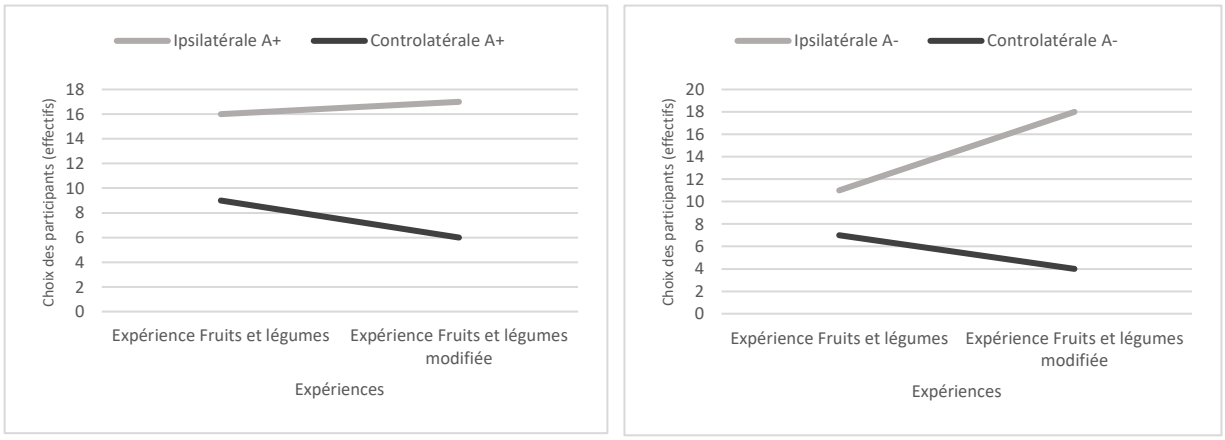
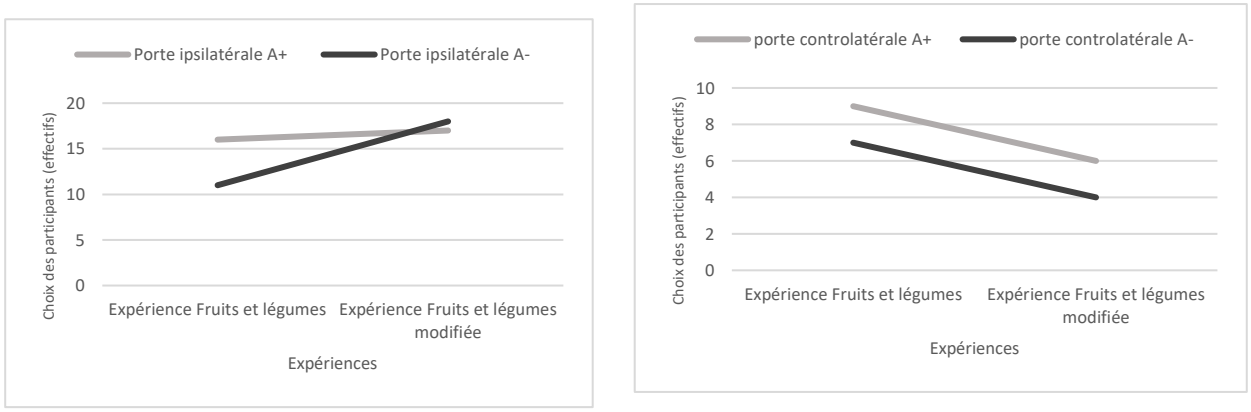


Figure G3

Choix de sortie des participants des expériences (expérience des Fruits et légumes, expérience des Fruits et légumes modifiée) selon l'emplacement du dispositif à gauche par rapport au dispositif actif à droite (ipsilatéral A^+ et ipsilatéral A^-; controlatéral A^+ et controlatéral A)



En nous référence aux travaux sur l'influence de l'espace ipsilatéral et l'espace controlatéral sur les performances des individus, nous suggérons de mesurer le temps de décisions de choix de sortie des participants pour les recherches futures. Par exemple, une étude montre que les individus sont plus rapides pour pointer un signal lumineux présenté dans

l’espace ipsilatéral que dans l’espace controlatéral. Ce qui suggère que les mouvements sont plus de rapides lorsqu’ils sont exécutés dans l’espace ipsilatéral par comparaison à l’espace controlatéral (Brouillet et al., 2017; Fisk et Goodale, 1985). Cela permettrait d’ouvrir la réflexion sur l’emplacement des dispositifs de signalisation dans les supermarchés selon l’espace ipsilatéral des individus.

En conclusion, les résultats des deux expériences suggèrent que peu importe la latéralisation du participant et le côté où est placé le dispositif lumineux, les participants adoptent majoritairement un mouvement ipsilatéral (i.e., dirigé vers la porte qui clignote).

Annexe H : Modification du visuel de l'issue de secours « Truite »

Dans les expériences *des Fruits et légumes* et *des Fruits et légumes modifiée*, les deux issues de secours du rayon sélectionné pour les expériences présentaient deux issues de secours au visuel différent. Afin de présenter aux participants une tache de libre choix de sortie avec deux issues de secours identiques, nous avons procédé à un habillage d'une des deux issues de secours.

Matériel :

- Panneaux de polystyrène extrudé 80x60 cm épaisseur 2.5 mm de marque SOPREMA
- Collage par scotch double-face
- Peinture en pot de la couleur de référence RAL 6032 (vert de sécurité)
- Panneau pictogramme sortie de secours autocollant
- Panneau sortie de secours avec flèche vers le bas autocollant

La figure H1 illustre en détail la procédure d'habillage de la porte.

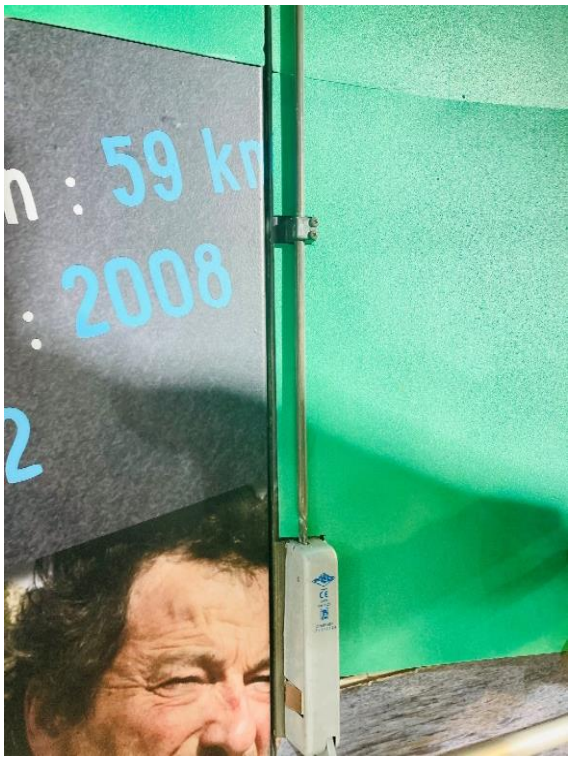
Figure H1

Illustration de la procédure d'habillage de la porte

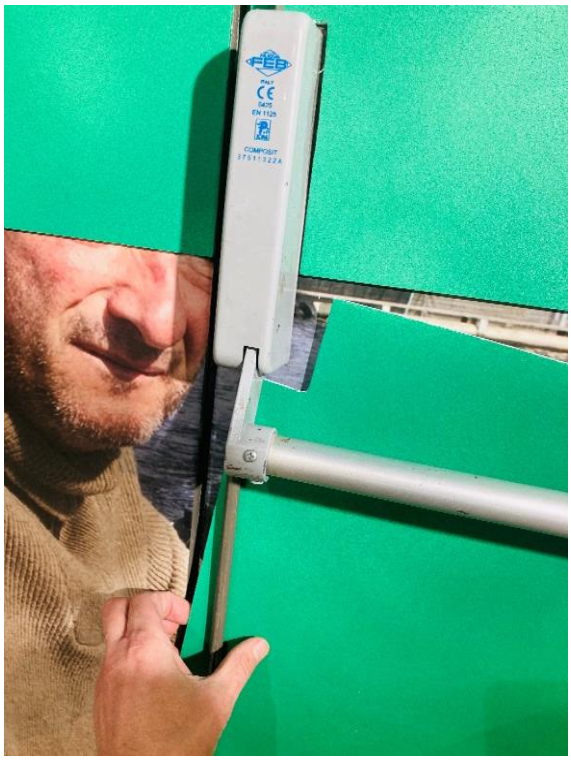



producteur


Distance du Magasin : 59 km
Partenaire depuis : 2008
Collaborateurs : 2
producteur


: 59 km
: 2008


Distance du Magasin : 59 km
Partenaire depuis : 2008
Collaborateurs : 2







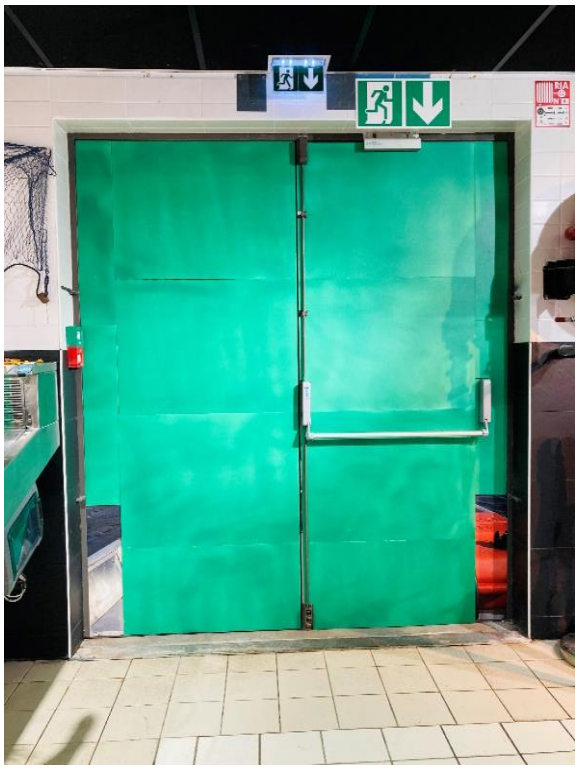


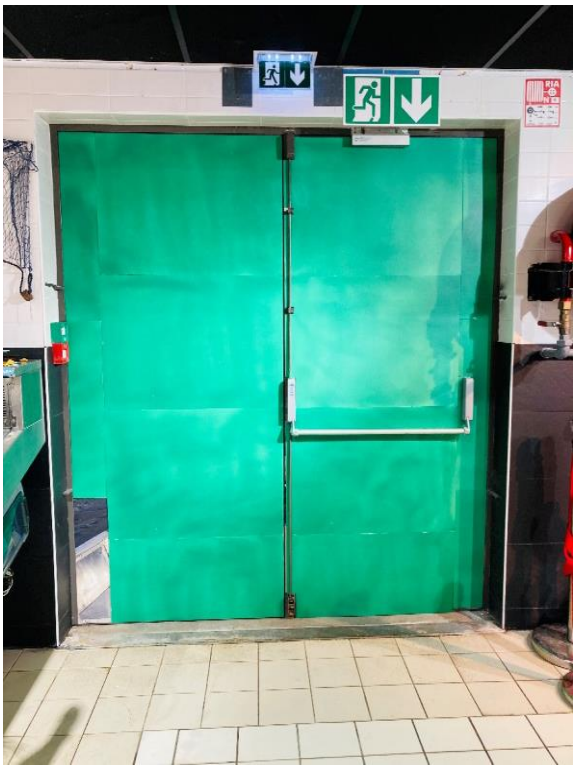










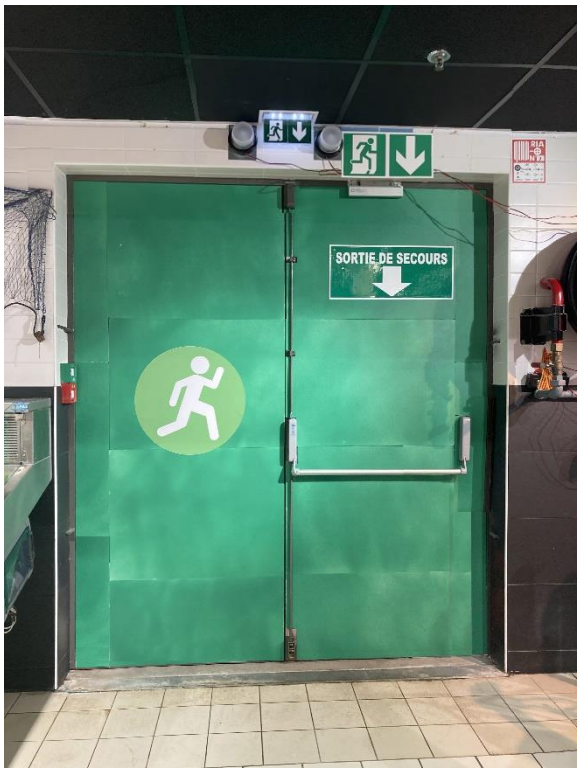







SORTIE DE SECOURS


SORTIE DE SECOURS


SORTIE DE SECOURS


SORTIE DE SECOURS

Annexe I : Les résultats de l'expérience *de la truite*

Plan expérimental

Le choix de sortie des participants (gauche, droite) est soumis à une variable interindividuelle principale, à savoir l'état du système de système de guidage avec trois modalités (dispositif actif à droite, dispositif actif à gauche, dispositif passif). Le plan expérimental de notre expérience est le suivant :

$$S_{24}<Guidage_{3>}$$

La combinaison des différentes modalités de la variable (dispositif actif à droite, dispositif actif à gauche, dispositif passif) a donné lieu à 3 conditions expérimentales (Tableau I1).

Tableau I1

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif de la porte

		Type de sortie	
		Porte de secours 1	Porte de secours 2
Système de guidage		actif	passif
		passif	actif
		passif	passif
Nombre total de participants	**24*3**		

Analyses statistiques

Afin d'étudier la relation entre l'état du dispositif (actif à gauche, actif à droite) et le choix de la porte (gauche, droite) dans chacune des conditions expérimentales, des tests de khi deux d'indépendance ont été menés à l'aide du logiciel R Studio.

Si le khi deux d'indépendance est significatif, nous indiquerons la valeur du V de cramer suivant les seuils d'intensité de la relation entre les variables suivantes : <.10 (relation nulle ou très faible), >.10 et >.20 (relation faible), >.20 et >.30 (relation moyenne) et >.30 (relation forte).

Résultats

Le tableau suivant indique le choix de sortie des participants (n, %) ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de la position de départ et l'état du dispositif (Tableau I2).

Tableau I2

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif

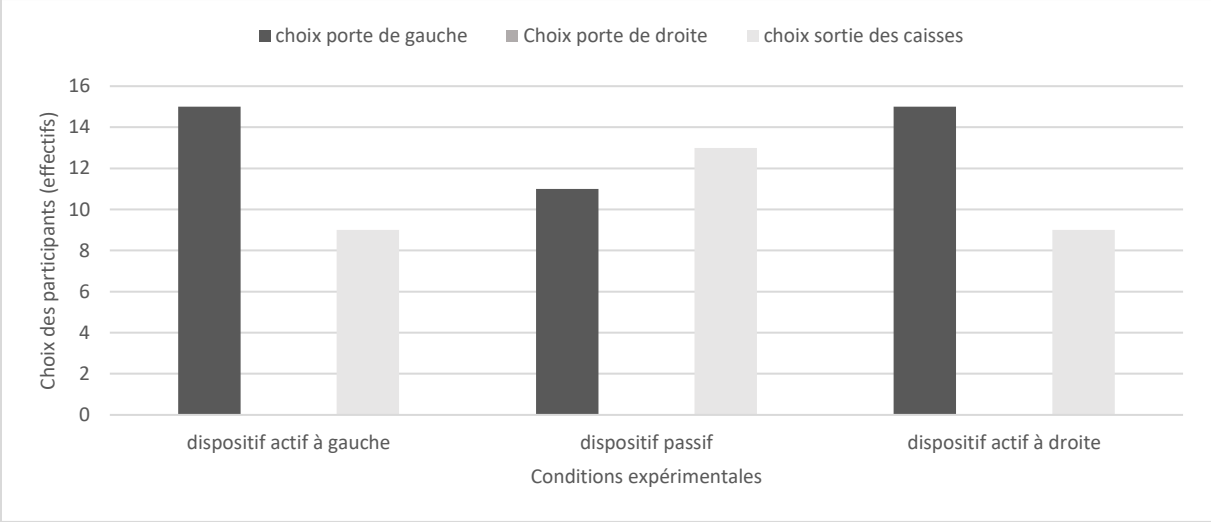
Dispositif	Choix de sortie		
	Choix à de la porte de gauche	Choix à de la porte de droite	Choix de la sortie des caisses
	n (%)	n (%)	n (%)
Dispositif actif à gauche N=24	15 (62.5)	0 (0)	9 (37.5)
Dispositif actif à droite N=24	15 (62.5)	0 (0)	9 (37.5)
Dispositif passif N=24	11 (45.83)	0 (0)	13 (54.17)
Total par choix	41 (56,94)	0 (0)	31 (43,05)

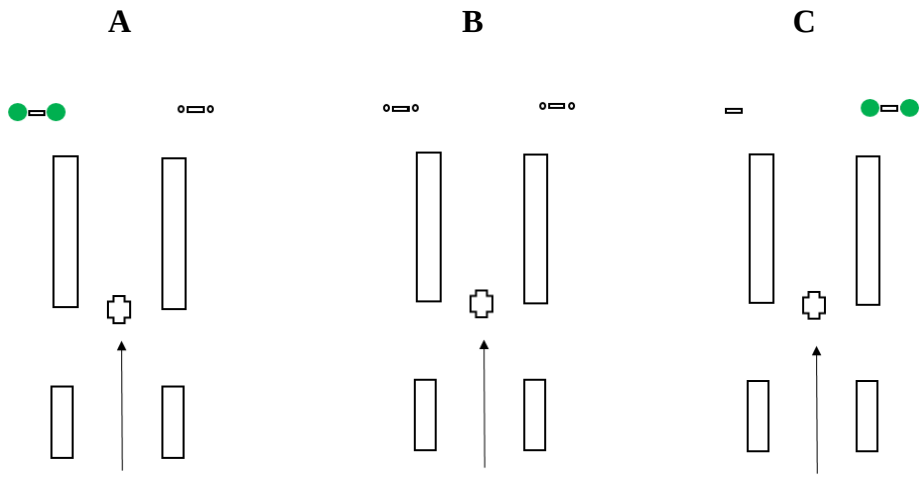
Afin d'observer si le dispositif actif a une influence sur le choix de sortie des participants par rapport au dispositif passif, nous analyserons les résultats selon les trois conditions du dispositif comme suit : 1) dispositif à actif à gauche, 2) dispositif actif à gauche et 3) dispositif passif.

La figure I1 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de l'état du dispositif.

Figure I1

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif





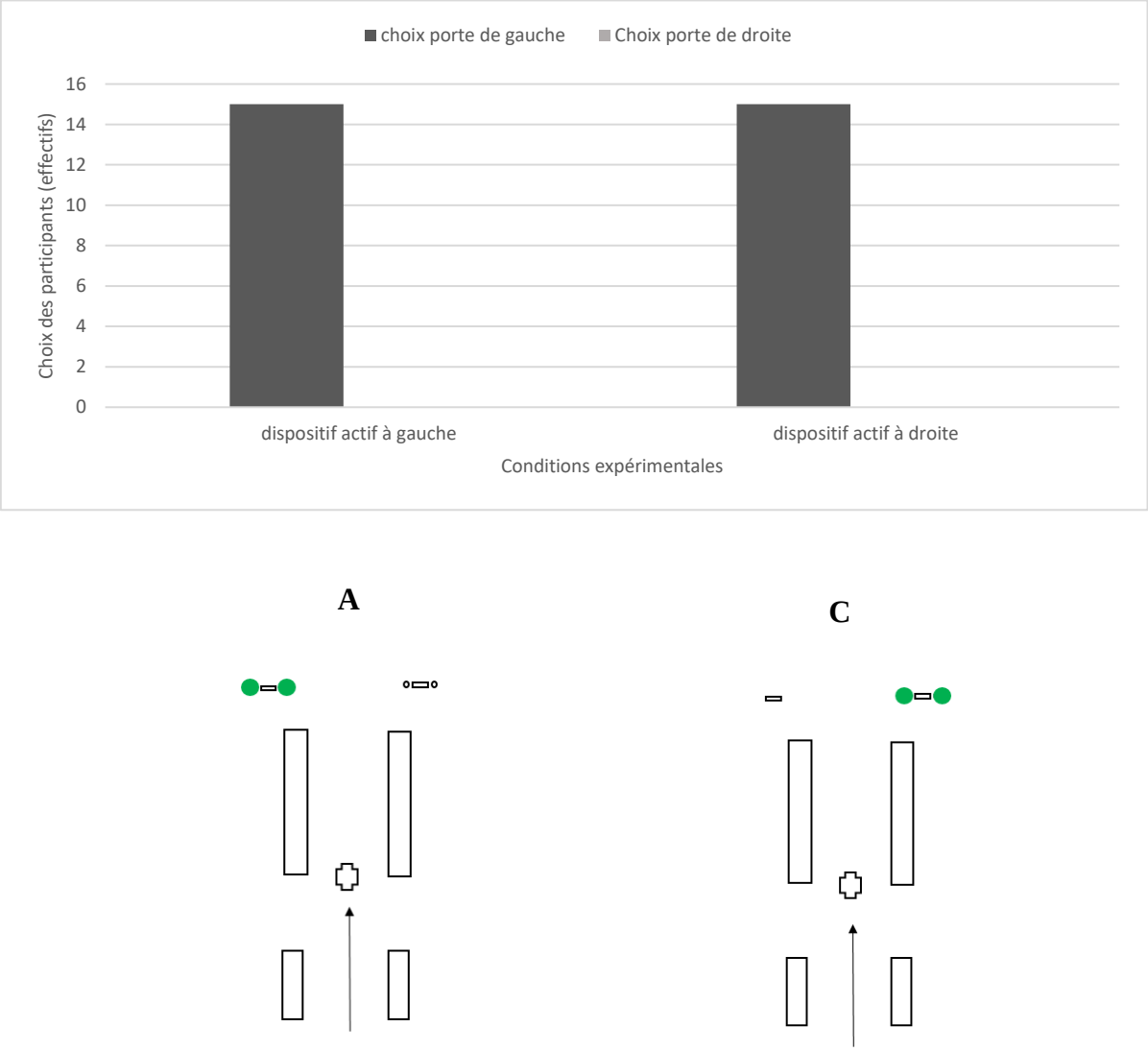
Dans un premier temps, nous avons effectué une analyse afin de comparer les choix des participants (gauche, droite) et les deux conditions expérimentales (dispositif actif à gauche [A], dispositif actif à droite [C]). Les participants se dirigent quasi majoritairement vers la

gauche quand le dispositif est actif à gauche, et cela indépendamment de la position du dispositif qu'il clignote à gauche [A] ou qu'il clignote à droite [C]) (respectivement, n = 15, 62.5 % ; n = 15, 62.5 % *;* X^2 (1, N = 48) = 0, *p* = 1).

La figure I2 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou de gauche en fonction de l'état du dispositif (actif à gauche [A], actif à droite [C]).

Figure I2

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif (A et C)



Comme dans l'expérience *des Fruits et légumes modifiée*, nous avons observé un comportement inattendu chez nos participants : une certaine partie d'entre eux ont exprimé la volonté de revenir sur leurs pas pour se diriger vers l'entrée principale du magasin. Nous avons donc décidé d'intégrer ce comportement à nos analyses. Nous avons effectué une deuxième analyse afin d'examiner la relation entre l'état du dispositif (actif à gauche [A], actif à droite [C]), et le choix de la porte (gauche, droite, sortie des caisses) :

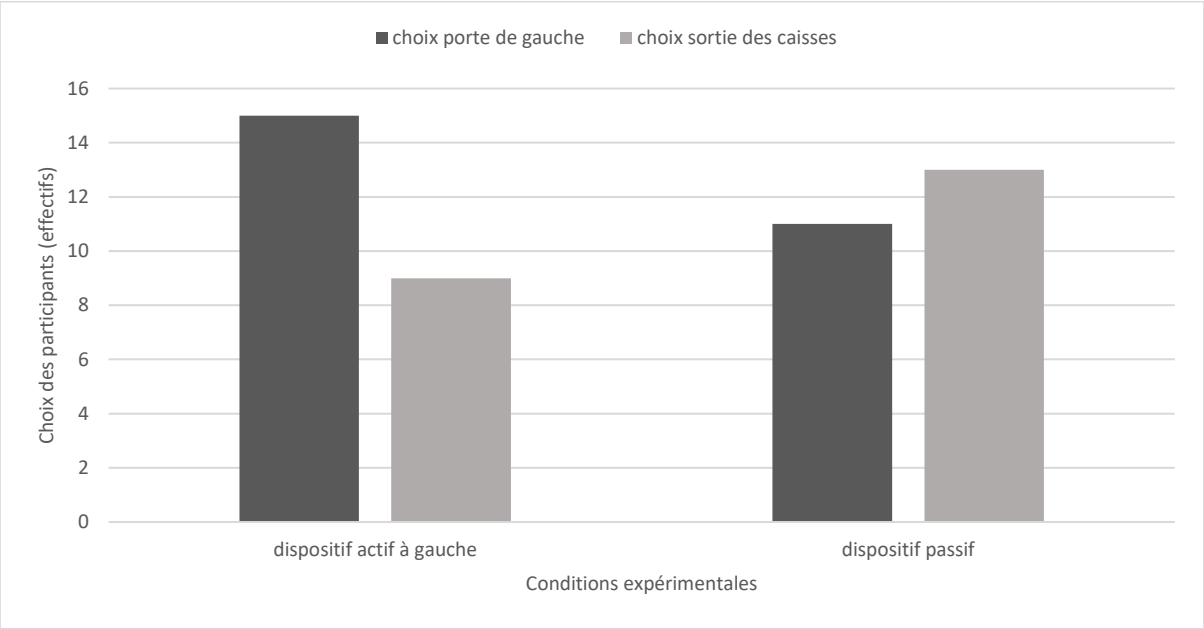
- ***Actif à gauche versus passif (A versus B)*** : quand le dispositif est actif à gauche, les participants ont tendance à plus se diriger vers la gauche que vers la sortie des caisses (respectivement, n = 15, 62.5 % ; n = 9, 37.5 %). Et quand le dispositif est passif, les participants se dirigent moins vers la gauche et plus vers la sortie des caisses (respectivement, n = 11, 45.83 % ; n = 13, 54.17 %). Les résultats ne montrent pas de relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 0.75, p =.38.

– ***Actif à droite versus passif (C versus B)*** : quand le dispositif est actif à droite, les participants ont tendance à plus se diriger vers la gauche que vers la sortie des caisses (respectivement, n = 15, 62.5 % ; n = 9, 37.5 %). Et quand le dispositif est passif, les participants se dirigent moins vers la droite et plus vers la sortie des caisses (respectivement, n = 11, 45.83 % ; n = 13, 54.17 %). Les résultats ne montrent pas de relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 48) = 0.75, p =.38.

La figure I3 montre le choix de sortie des participants ayant choisi la porte de droite ou la sortie des caisses en fonction de l'état du dispositif (actif à gauche [A], passif [B]).

Figure I3

Choix de sortie des participants en fonction de l'état du dispositif de la porte



L'expérience *de la truite* montre que les clients privilégient de sortir majoritairement par la porte de gauche quand elle clignote ou non. Et les participants ne se dirigent jamais vers la porte de la truite.

Annexe J : Observation d'exercices d'évacuation d'urgence en supermarché

Comme nous l'avons évoqué en introduction de ce travail de thèse, ces dernières années, de nombreuses attaques terroristes ont eu lieu dans le monde et en France. Cependant, les comportements d'évacuation lors des attentats dans un lieu recevant du public ne sont pas clairs et les plans d'urgences ne sont pas calibrés pour les attaques terroristes. Et nous constatons que les données disponibles sur les attentats dans un supermarché sont insuffisantes pour aujourd'hui analyser correctement le comportement des individus pendant une évacuation d'urgence. Par exemple, lors d'une attaque dans un lieu public, l'utilisation des sorties de secours est essentielle pour s'échapper. En France, le Code de la construction et de l'habitation stipule d'ailleurs que les sorties et les dégagements intérieurs qui y conduisent doivent être aménagés et répartis de telle façon qu'ils permettent l'évacuation rapide et sûre des personnes (Gasparotto, 2018).

Face au manque de données sur la dynamique collective en situation d'évacuation d'urgence, nous avons mené des observations exploratoires sur les comportements d'évacuation sur la base d'observation d'exercice d'évacuation d'urgence en supermarché. Au total, 168 participants ont pris part à deux exercices d'évacuation d'urgence dans deux supermarchés différents. Les observations ont été obtenues par les enregistrements des caméras de surveillance collectés par les équipes de sécurité des magasins.

Le but était de comprendre l'influence des affordances physiques, sensorielles, cognitives et ainsi fonctionnelles dans les comportements d'évacuation dans un environnement changeant.

Les résultats des observations ont montré que les participants ont évacué vers la sortie en fonction de la familiarité de l'issue de secours, c'est-à-dire de la porte qu'ils utilisent pour entrer dans le bâtiment ou accéder à la réserve. Une autre observation est que lorsque les

participants se déplacent en groupe en direction de la sortie, la vitesse de marche est ralentie. Ou encore que les participants adoptent des réponses comportementales différentes selon leur emplacement dans le supermarché : certains d'entre eux ont continué leurs activités jusqu'à ce qu'un autre participant ne les avertisse. Ces deux observations d'exercices ont montré que les individus ont tendance à se diriger vers une sortie quand ils aperçoivent une ou plusieurs personnes se diriger vers la sortie (Gwynne et al., 2003). Ce travail peut fournir des données comportementales pour établir un comportement de référence collectif et individuel des individus lors d'une évacuation d'urgence en environnement complexe et changeant.

Méthode

Participants

Les exercices ont impliqué 168 participants, dont 74 femmes et 94 hommes. L'âge moyen des participants était de 36,11 ± 13,49. Avec un rang d'âge variant de 18 à 59 ans. Le tableau J1 montre la répartition des membres du personnel qui ont participé aux exercices en fonction du magasin. En raison de la taille des effectifs et de la superficie du magasin, le nombre de participants variait à chaque exercice.

Tableau J1

Type de magasins, localisation, nombre d'issues de secours, superficie, nombre d'effectifs, nombre de participants et date de l'exercice

Exercice	Type	Localisation	Superficie (m2)	Nombre d'issue de secours	Date de l'exercice	Nombre d'effectifs	Nombre de participants
1	Hypermarché	Mende	6800	12	20 janvier 2020	200	140
2	Supermarché	Mauron	3500	4	10 mars 2021	40	28
Total participants	168						

Collecte et analyse de données

Les exercices se sont déroulés dans respectivement 2 supermarchés. Les supermarchés sont représentatifs de deux configurations différentes. Le magasin de Mende est un hypermarché situé dans un périmètre urbain de 6800 m2. Le supermarché de Mauron est un supermarché situé en zone rurale avec une superficie de 3000 m2 (Tableau 7).

Deux exercices d'évacuation d'urgence ont été réalisés dans différents supermarchés. Les enregistrements des caméras de surveillance ont été collectés par les équipes de sécurité des magasins. Les enregistrements montrent deux exercices d'évacuation annoncés menés en 2020 et 2021 dans le cadre du programme de formation aux risques attentatoires du personnel des magasins de l'enseigne U. Les caméras fixes de surveillance de chaque supermarché ont été utilisées pour la collecte des données. Les caméras utilisées dans cette étude sont installées en permanence dans le supermarché et sont habituellement utilisées pour les questions de vols et de sécurité. Les caméras couvrent chaque issue de secours, les rayons, la ligne de caisse et l'accueil des magasins.

Étant donné que l'évacuation était dans le cadre d'un exercice, le temps de pré-évacuation et le temps d'évacuation ont été exclus de l'étude. Les données ont été analysées en fonction de l'observation de l'application des consignes d'évacuation et du choix de sortie. Les images vidéo collectées ont été analysées manuellement pour chaque unité de comportement de la grille d'observation (Annexe L).

Procédure

Les exercices faisaient partie des pratiques de formation des personnels « Réagir face à une menace grave et imminente en magasin ». La formation propose un module d'exercice d'évacuation avec l'ensemble du personnel encadré par un intervenant externe spécialiste de la sécurité. L'exercice se déroule en deux temps avant l'ouverture au public du magasin. Après la

présentation de l'intervenant à l'ensemble du personnel présent, le personnel est invité à reprendre les activités. L'intervenant joue le rôle d'un individu armé menaçant (arme factice). L'exercice débutait lors de l'arrivée de l'intervenant au niveau de l'accueil du magasin, le personnel devait suivre la procédure du guide pratique à destination des centres commerciaux du gouvernement *Comment se protéger lors d'une attaque terroriste*[4].

Résultats

Les actions comportementales observées pour les personnels ont été recueillies par les caméras de surveillance des magasins. En raison de l'implantation fixe des caméras, il n'était pas possible d'observer la totalité du déplacement de chacun des participants. Cependant, un grand nombre d'actions comportementales en réponse à la menace d'un individu armé dans le supermarché ont été identifiées (Tableau 2).

Le Tableau J2 présente les données de comportements du personnel lors de l'exercice d'évacuation d'urgence.

[4] En cas de menace grave et imminente, il est recommandé de fuir le danger dans la direction opposée en évacuant le magasin par l'issue de secours la plus proche le plus rapidement possible dès la détection de la menace. Dans le cadre des exercices d'évacuation annoncés, les recommandations de se cacher sont exclues pour optimiser l'apprentissage des règles d'évacuation vers les voies d'évacuation les plus proches (Issues de secours). Le triptyque des consignes gouvernementales *S'échapper, se cacher et alerter* est dispensé lors de la formation théorique à destination des directeurs et des managers. Les exercices d'évacuation sont un module de la formation à destination de l'ensemble des collaborateurs du magasin. Les objectifs du module exercice d'évacuation d'urgence sont de permettre à l'ensemble du personnel de connaitre la conduite adaptée à la menace et de la mettre en œuvre en situation. Pour rappel, les consignes de la situation 1 : penser au plan de secours (issues de secours, autres issues de proximité…), s'éloigner de la zone de danger et évacuer et faire évacuer les clients par les cheminements reconnus. Les consignes sont issues de la campagne de sensibilisation du gouvernement pour mieux se préparer et protéger les citoyens face à la menace terroriste depuis les attentats du 13 novembre 2015 (sources https://www.gouvernement.fr/risques/les-espaces-et-centres-commmerciaux)

Tableau J2

Comportements des participants observés selon le type d'exercice

Actions observées	(%)		Nombre de participants	
	Exercice		Exercice	
	1	2	1	2
L'individu marche en direction de la sortie	75	35,71	99	10
L'individu se déplace vers la droite	71,96	78,57	95	22
L'individu se déplace en groupe en direction de la sortie	64,39	71,42	85	20
Lorsque l'individu perçoit l'alerte, il suit immédiatement le déplacement du groupe	90,15	71,42	119	20
L'individu respecte la consigne d'évacuer vers la sortie la plus proche dans le calme et immédiatement	90,90	78,57	120	22
L'individu effectue l'itinéraire le plus court vers la sortie la plus proche (vs plus long)	86,36	85,71	114	24
Total participants			140	28

Figure J1

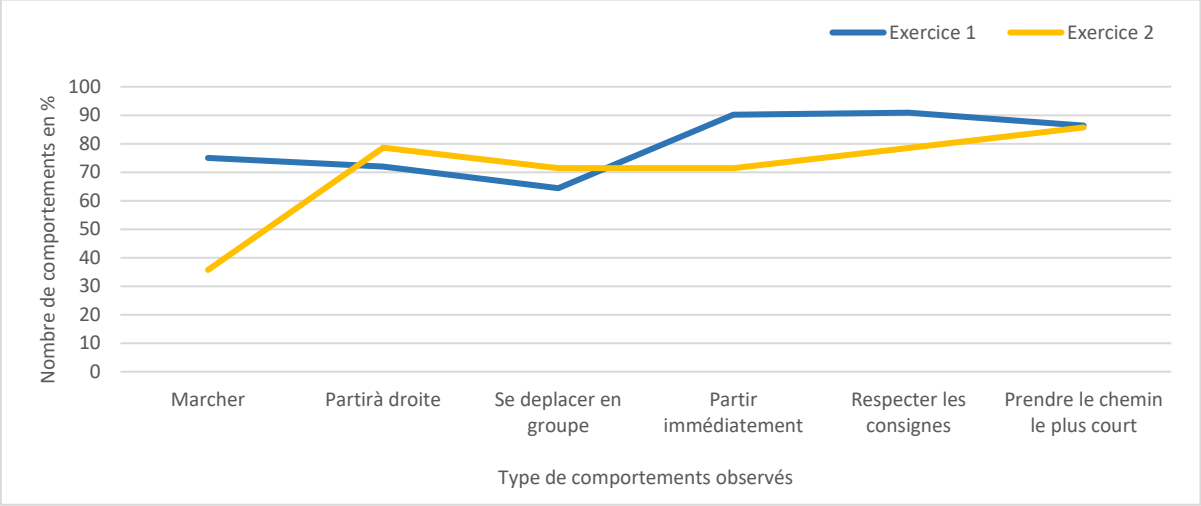
Illustration des différents types de comportements des participants lors de l'exercice



Les données comportementales comparées entre les deux exercices d'évacuation montrent que les résultats sont proches pour les comportements de direction vers la droite, le déplacement en groupe et l'utilisation de l'itinéraire le plus court vers la sortie (Figure J2).

Figure J2

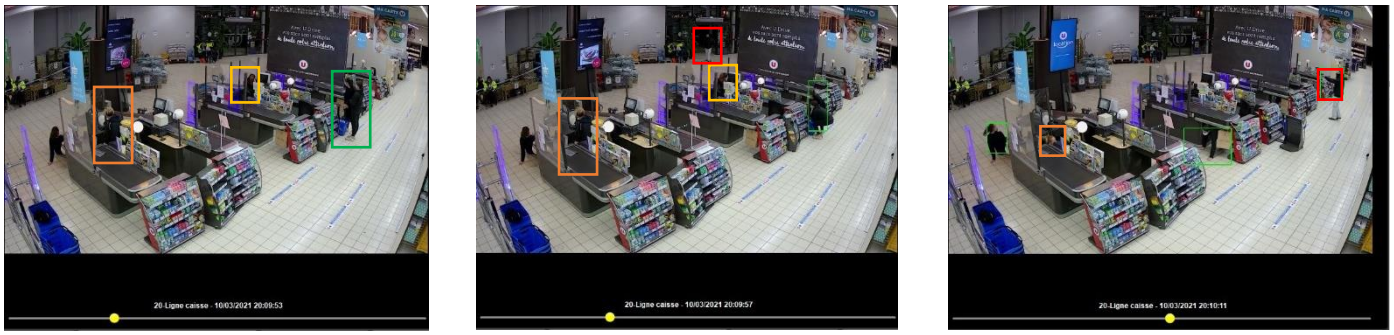
Type de comportements observés des participants selon le type d'exercice



Cependant, on observe des différences concernant les comportements de marche plus élevés pour l'exercice 1 par rapport à l'exercice 2. De plus, les participants à l'exercice 1 ont plus tendance à respecter la consigne d'évacuation immédiatement vers la sortie que les participants de l'exercice 2. Ces différences comportementales semblent être influencées par le contexte de configuration du supermarché de l'exercice 2. En effet, les participants de l'exercice 2 ont fait le choix de se cacher sous les caisses au début de l'exercice plutôt que d'évacuer vers la sortie la plus proche (Figure J3).

Figure J3

Illustration des différents types de comportements des participants lors de l'exercice au niveau de la ligne de caisse



Discussion

Dans cette étude, nous avons observé la prise de décision des individus en contexte d'exercice d'évacuation d'urgence dans un supermarché. Le but était de comprendre l'influence des affordances physiques, sensorielles, cognitives et ainsi fonctionnelles dans les comportements d'évacuation dans un environnement changeant. Les données comportementales ont été collectées pour établir un comportement de référence des individus ayant participé à un exercice d'évacuation d'urgence.

Lors d'une attaque dans un lieu public, l'utilisation des sorties de secours est essentielle pour s'échapper. En France, le Code de la construction et de l'habitation stipule d'ailleurs que

les sorties et les dégagements intérieurs qui y conduisent doivent être aménagés et répartis de telle façon qu'ils permettent l'évacuation rapide et sûre des personnes (Gasparotto, 2018). Face au manque de données sur la dynamique collective en situation d'évacuation d'urgence, nous avons étudié le comportement collectif et individuel du personnel lors d'un exercice d'évacuation d'urgence dans un supermarché.

L'objectif de l'étude était d'étudier le comportement collectif et individuel de 168 participants en situation d'évacuation dans deux supermarchés sur la base de deux enregistrements d'exercice d'évacuation d'urgence. Les exercices observés impliquaient une population constituée des personnels des supermarchés exclusivement. Des actions comportementales et des choix de sortie de l'ensemble de la population observée (N =168) ont été obtenus.

Dans les exercices, des participants ont évacué vers la sortie en fonction de la familiarité de l'issue de secours, c'est-à-dire de la porte qu'ils utilisent pour entrer dans le bâtiment ou accéder à la réserve. Des résultats qui suggèrent que le personnel doit se familiariser avec l'utilisation de sorties alternatives.

Une autre observation est que lorsque les participants se déplacent en groupe en direction de la sortie, la vitesse de marche est ralentie. On s'attendrait à ce que de tels comportements soient réduits lors d'une évacuation d'urgence inopinée. Enfin, les analyses des données comportementales révèlent que les participants adoptent des réponses comportementales différentes selon leur emplacement dans le supermarché.

Cependant, certains d'entre eux ont continué leurs activités jusqu'à ce qu'un autre participant les avertisse. L'étude permet d'observer que les individus ont tendance à se diriger vers une sortie quand ils aperçoivent une ou plusieurs personnes se diriger vers la sortie. Ces résultats sont en cohérence avec les études sur le comportement de suivi (Gwynne et al., 2003). De plus, on observe que pendant le mouvement de sortie, les participants étaient influencés par

le choix d'itinéraire du groupe. Ce qui implique que la performance d'évacuation dans des environnements tels que les supermarchés peut dépendre de la performance du personnel et peut avoir des implications sur le type de formation dispensée et des consignes utilisées en cas d'évacuation d'urgence.

L'observation des exercices d'évacuation a rencontré plusieurs limites qui doivent être prises en compte pour les observations comportementales d'autres recherches futures :

- Pour toutes les configurations, il y avait un nombre limité de collectes de données vidéo en raison de l'implantation fixe des caméras de surveillance. Cependant, l'utilisation du système de vidéosurveillance des magasins était moins intrusive pour les participants.
- Les analyses de données sur le comportement ont été faites à partir des données vidéo. Un questionnaire NASATLX aurait été un apport de données pour cette étude. Cependant, seuls les participants d'un exercice réalisé dans un troisième supermarché ont été interrogés. Le questionnaire administré avant et après l'exercice a fourni des résultats préliminaires non utilisables dans cette étude.
- Aucun client n'a participé aux différents exercices.

En conclusion, l'application des consignes d'évacuation lors d'une évacuation d'urgence n'a été réalisée que dans un cadre annoncé et entre membres du personnel du magasin. Des observations d'exercices non annoncés en présence des clients pourraient apporter des données complémentaires aux comportements collectifs en situation d'évacuation d'urgence.

Annexe K : Observations exploratoires du comportement de l'individu en situation d'ouverture d'une issue de secours : Sésame ouvre-toi !

En cas d'évacuation d'urgence dans un supermarché, les issues de secours jouent un rôle important dans les évacuations des clients et des membres du personnel. Afin de faciliter le flux des individus vers l'extérieur du supermarché, la conception des issues de secours doit répondre à certaines caractéristiques d'utilisation selon les normes de sécurité de la règlementation. Suite à de nombreuses victimes lors d'évacuation d'urgence, les normes concernant les fermetures anti-paniques sont publiées en 1978 concernant l'évacuation des personnes en cas d'urgence.

Depuis 1997, la norme européenne EN 1125 est obligatoire pour les systèmes mécaniques de déverrouillages des portes anti-paniques. Cette norme européenne spécifie les exigences pour la fabrication, les performances et les essais des fermetures anti-paniques mécaniques, spécifiquement conçues pour être utilisées dans une situation de panique sur des voies d'évacuation. Une situation de panique peut avoir lieu lorsque les utilisateurs ne sont pas familiers des lieux et donc du fonctionnement des issues de secours. Les fermetures d'issue de secours conformes à la norme EN 1125 fournissent un moyen d'évacuation sûr et efficace par une porte d'issue de secours, et ce avec un minimum d'effort et sans connaissance préalable de la fermeture anti-panique.

Cependant, dans le supermarché utilisé dans notre étude, l'ouverture de la porte nécessite de « libérer » l'issue de secours à partir d'un déclencheur manuel. Le déclencheur manuel se présente sous la forme d'un boitier vert installé à côté de la porte. Il a pour fonction par simple pression manuelle d'actionner l'ouverture de la porte à laquelle il est relié. La couleur verte est utilisée pour faciliter la différenciation avec les déclencheurs pour les incendies de couleur rouge.

Selon Hartson (2003), l'affordance physique d'un objet est ce qui permet de réaliser une action comme par exemple ouvrir une issue de secours. Sur ce point, la particularité des issues de secours est qu'il est parfois difficile de les ouvrir en raison de dispositifs de verrouillage. Cependant, il apparait comme impératif que les personnels des supermarchés puissent facilement ouvrir l'issue de secours et ainsi permettre aux clients de les utiliser.

L'objectif de ce travail était d'observer si la préparation aux situations d'urgence pouvait influencer le comportement d'évacuation des personnels du supermarché et notamment lors d'une évacuation d'urgence. Pour cet objectif, nous avons proposé une tâche simple d'ouverture de porte aux participants. L'observation exploratoire a été réalisée auprès des personnels de l'hypermarché de Mende en juillet 2021. Notre hypothèse était que le nombre d'ouvertures de porte serait supérieur pour les participants ayant reçu préalablement une formation que pour les participants non formés.

Méthode

Participants

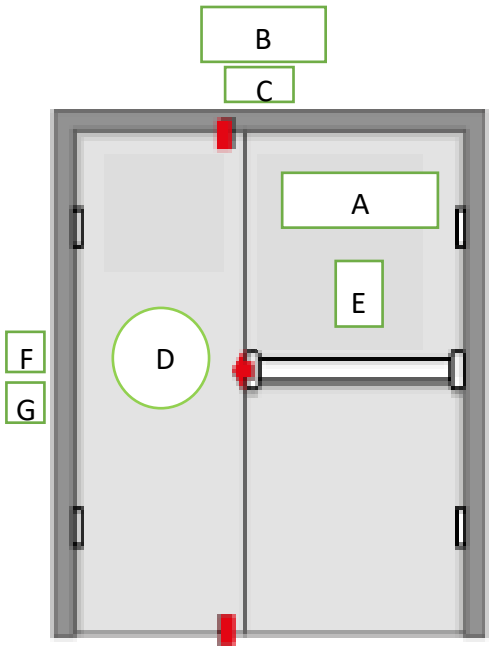
80 participants dont 41 femmes et 39 hommes ont pris part à l'expérience. L'âge moyen des participants était de 35,19 ±11,14. Avec un rang d'âge variant de 18 à 59 ans. Tous les participants étaient des membres du personnel du supermarché de Mende. Le recrutement des participants a été effectué directement auprès des membres du personnel présents dans le supermarché. Les participants ont reçu très peu d'informations lors du recrutement avant l'expérience. L'expérimentateur a seulement énoncé qu'il s'agissait d'une étude scientifique sur la sécurité dans le supermarché. Ils ont été également informés que l'expérience était sans danger et qu'ils pouvaient arrêter l'expérience à tout moment. Tous ont donné leur consentement éclairé avant leur participation. Tous les membres du personnel pouvant être observateur de l'expérience ont été exclus de participation à l'expérience.

Stimuli et Matériel

L'issue de secours utilisée était une porte à 1 vantail actif et 1 vantail passif (Figure 24). Le vantail actif est un vantail s'ouvrant le premier et se fermant le dernier d'une porte à deux vantaux, battant dans un seul sens. Le vantail passif est un vantail verrouillable équipé de dispositifs de verrouillage. La porte est de dimension de 235,5 cm X 189 cm de couleur vert de sécurité (RAL 6032). Une barre anti-panique de type A (barre de poussée) d'une dimension de 89 cm est placée à 102 cm du sol. Sept éléments de signalétiques sont placés sur la porte (Figure K1, A, B, C, D, E, F, G).

Figure K1

Illustration du type d'issue de secours utilisée



Eléments A : un texte « sortie de secours » avec une flèche vers le bas à 173,5 cm du sol (au-dessus de la barre de poussée d'ouverture de la porte) de couleur blanc sur fond vert RAL 6032. Elément B : une signalétique représentant un personnage qui court et une flèche vers le bas de couleur blanc sur fond vert RAL 6032 à une distance de 135,5 cm du sol. Elément C : un panneau « issue de secours rétroéclairé » avec un personnage qui court et une flèche vers le bas à 222 cm du sol de couleur blanc sur fond vert RAL 6032. Elément D : une signalétique représentant un dessin d'un personnage qui court à 90 cm du sol de couleur blanc sur fond vert RAL 6032. Elément

E : affiche représentant un personnage qui court, un texte « issue de secours uniquement » (texte blanc sur fond vert RAL 6032) et un texte à n'utiliser qu'en cas d'urgence (texte blanc sur fond rouge RAL 3001). Elément F : un déclencheur manuel d'ouverture de porte de couleur vert RAL 6032. Elément G : un bloc de déclencheur d'alarme incendie de couleur rouge RAL 3001

Procédure

Après avoir reçu les informations préalables, l'expérimentateur a demandé au participant de se placer sur la position de départ indiquée et donnait la consigne simple d'ouvrir l'issue de secours. La performance du participant est notée par l'observateur qui reste au même endroit tout au long de l'expérience.

Résultats

Le tableau suivant montre les résultats des performances d'ouverture de l'issue de secours des participants (n, %) selon les acquis de formation (Tableau K1).

Tableau K1

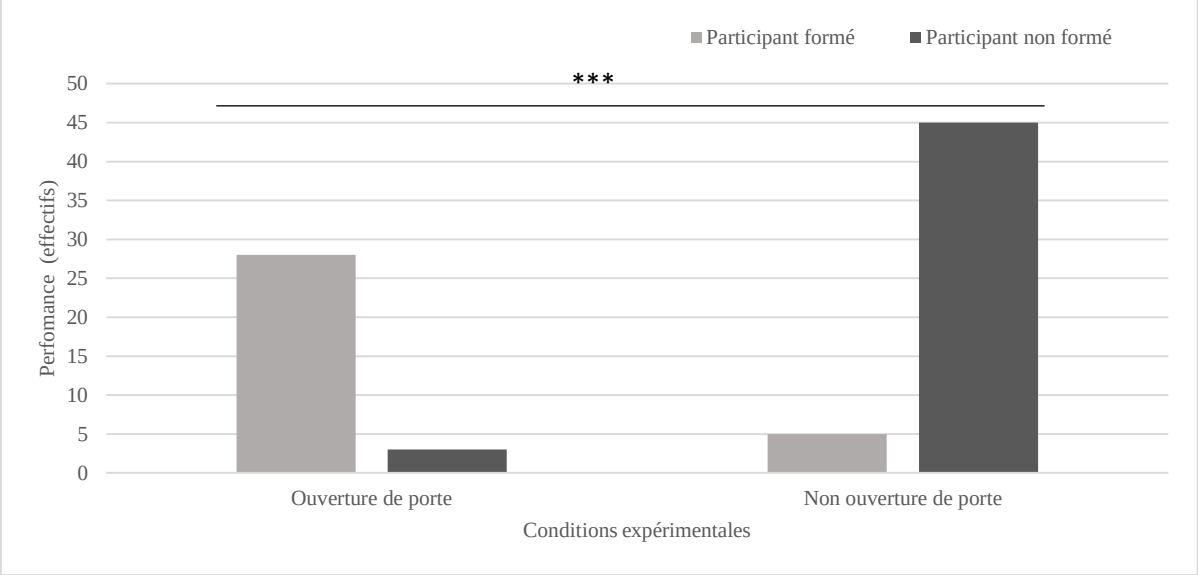
Score d'ouverture de l'issue de secours des participants selon les acquis de formation

Effectif	Performance d'ouverture de l'issue de secours	
	Ouverture de porte	Non ouverture de porte
	n (%)	n (%)
Participant ayant reçu une formation	28 (93,33)	2 (16,67)
Participant n'ayant pas reçu une formation	5 (10)	45 (90)
Total (N=80)	33 (41,25)	47 (58,75)

La figure K2 montre la performance d'ouverture de porte des participants en fonction de l'acquis de formation (figure K2).

Figure K2

Score d'ouverture des participants en fonction des acquis de formation



Nous avons effectué une analyse afin de comparer la performance des participants et les deux conditions expérimentales (personnel formé, personnel non formé) : les résultats montrent une relation significative entre ces variables. En effet, les participants obtiennent de meilleures performances d'ouverture de la porte quand ils ont préalablement reçu une formation par rapport aux participants n'ayant pas reçu de formation (respectivement, n = 28, 93.33 % ; n = 5, 10 %). Les résultats montrent une relation significative entre ces variables X^2 (1, N = 80) = 50.34, p <.001. De plus, la mesure de l'intensité du lien entre les deux variables est considérée comme forte compte tenu de la valeur du V de Cramer > .30.

Ainsi, conformément à notre hypothèse, nous pouvons constater que la formation influence la performance d'ouverture de porte des participants.

Conclusion

L'analyse des résultats de l'étude a permis de mettre en évidence que la performance d'ouverture d'une issue de secours est influencée par l'acquis de formation. Plus précisément, la performance d'ouverture de porte est significativement supérieure pour les participants ayant suivi préalablement une formation sur l'évacuation d'urgence que pour les participants n'ayant pas reçu de formation sur l'évacuation d'urgence.

Discussion

Dans cette deuxième observation, notre objectif était d'explorer le comportement d'évacuation des personnels du supermarché et notamment lors d'une évacuation d'urgence. Pour cet objectif, nous avons proposé une tâche simple d'ouverture de porte aux participants. Notre hypothèse était que le nombre d'ouvertures de porte serait supérieur pour les participants ayant reçu préalablement une formation que pour les participants non formés. Conformément à notre hypothèse, les résultats obtenus dans cette expérience mettent en évidence que la formation peut potentiellement améliorer l'effet d'affordance physique entre l'individu et l'issue de secours.
Dans l'étude Sésame Ouvre-toi, le concept des affordances a été mis à l'épreuve lors d'une simple tache d'ouverture de porte. Le but était de tester l'influence des affordances physiques entre le sujet et son environnement sur les possibilités d'actions. Les résultats sont en accord avec notre hypothèse sur le lien entre l'affordance physique sur le comportement des individus en situation d'évacuation. De plus, les résultats soulèvent des perspectives intéressantes sur la nécessité de la formation des personnels des magasins. Ces conclusions sont en accord avec les travaux sur la formation et la préparation aux situations d'urgence comme principal mécanisme d'amélioration de la performance des individus dans des situations d'urgence (Gwynne, 2020; Kinateder, 2013; Holloway, 2007; Gwynne, 2016).

Annexe L : Grille d'observation d'un exercice évacuation d'urgence dans un supermarché

Les techniques expérimentales pour observer le comportement humain ont été étudiées à lors d'un exercice d'évacuation d'urgence. L'utilisation de caméras de surveillance a enregistré l'exercice dans un grand centre commercial.

Phase descriptive

Lors d'une attaque dans un lieu public, l'utilisation des sorties de secours est essentielle pour s'échapper. Face au manque de données sur la dynamique collective en situation d'évacuation d'urgence, nous avons étudié les trajectoires des individus lors d'un exercice d'évacuation d'urgence dans un centre commercial. L'objectif principal de cette étude est d'observer le comportement collectif en situation d'exercice d'évacuation d'urgence. Les résultats nous permettront d'établir un comportement de référence des individus ayant reçu une formation à l'évacuation d'urgence. Ces données seront ensuite implémentées dans un modèle de simulation multi-agents.

La phase exploratoire

Afin de mener à bien notre étude, nous avons réalisé une observation en milieu naturel (Hyper U de Mende) avec un échantillonnage de 100 participants (salariés). Tous les participants ont reçu les informations et les consignes concernant l'exercice d'évacuation. Le choix du recueil des informations est un enregistrement vidéo.

Développement du système de codification

Pour la présente recherche, le codage des vidéos est manuel pour chaque unité de comportement de la grille d'observation (Tableau 1). Afin d'analyser les comportements, un codage a été associé à chaque unité comportementale de la grille.

Méthode de cotation

L'observation continue a été choisie pour la présente étude, les séquences d'observation débutent au moment où un comportement ciblé est émis (Dowdney *et al*., 1984; Norimatsu et Pigem, 2008). Dans la présente étude, le codage est amorcé dès qu'un individu émet un comportement répertorié dans la grille (voir Tableau 1). Par exemple, la séquence d'observation est lancée lorsque l'individu émet un comportement physique. L'observateur inscrit le code associé à la variable « déplacement de la personne X » et enregistre a - court b - marche c - se couche au sol aut_autres. La variable « déplacement de la personne X » comprend 4 modalités qui ne se recouvrent pas. Autrement dit, la personne observée ne peut satisfaire 2 modalités en même temps.

Tableau 1

Grille d'observation de la prise de décision de l'individu en situation d'exercice d'évacuation d'urgence dans un centre commercial

Numéro d'items	Type de comportements			Description
1	Prise de décision d'évacuer (Li, 2017)	Comportement de locomotion (Pan, 2007)	marche	L'individu marche en direction de la sortie
2			court	L'individu court en direction de la sortie
3			Reste immobile	L'individu reste immobile
4			Se couche au sol	L'individu se couche derrière un élément (caisse, rayon, banque d'accueil, comptoir…)
5			Se déplace en rampant	L'individu rampe vers la sortie

6			Marche en position courbée	L'individu se déplace en s'abritant derrière un élément (comptoir, rayon…)
7			Autres	Autres
8		Comportements spatiaux (Guo, 2014)	Direction droite	L'individu se déplace vers la droite
9			Direction gauche	L'individu se déplace vers la gauche
10			Autres	
11		Comportements de rassemblement (Effet de rassemblement ; Helbing et al., 2005)	Se déplace en groupe	L'individu se déplace en groupe en direction de la sortie
12			Se déplace seul	L'individu se déplace seul en direction de la sortie
13			Autres	Autres
14	Preuve sociale (Cialdini, 2001)	Comportements d'auto-organisation (Kunzer, 2016), effet de troupeau (Helbing, 2005 ; Helbing et al., 2002)	Suit les autres	Lorsque l'individu perçoit l'alerte, il suit immédiatement le déplacement du groupe
15			Va dans la direction opposée	Lorsque l'individu perçoit l'alerte, il prend immédiatement la direction opposée au déplacement du groupe
16		L'inhibition sociale et la diffusion de la responsabilité (Cialdini, 2001)	Ne fait rien	Lorsque l'individu perçoit l'alerte, il n'a pas de réaction de déplacement physique

17			Demande des informations	Lorsque l'individu perçoit l'alerte, il demande des informations verbalement sur l'événement
18			Se cache	Lorsque l'individu perçoit l'alerte, il se cache derrière un élément
19	Comportements de contrôle (Rodriguez & Amato, 2010)	Modèle de foule guidée (Yang, 2014)	Suit les consignes	L'individu respecte la consigne d'évacuer vers la sortie la plus proche dans le calme et immédiatement
20			Ne suit pas les consignes	L'individu ne respecte pas la consigne par exemple reste à son poste de travail ou ignore l'alerte des autres
21	Comportement adaptatif (Nagatani et al., 2003)	Comportement stratégique (Asano et al., 2010)	Utilise la sortie la plus proche	L'individu effectue l'itinéraire le plus court vers la sortie la plus proche
22		Stratégie de mouvement (Hu, 2019)	Utilise une autre sortie	L'individu effectue un autre itinéraire que celui vers la sortie la plus proche
23			Autres	Autres
24		Autres comportements		

Communications

Le prix en intelligence artificielle et informatique – 7 octobre 2021 – IMT Mines Ales – https://youtu.be/yrAV1EZnyO0

Fauvel, R. (2021, 14 décembre). L'intelligence artificielle pour anticiper le pire. *I'MTech. L'actualité scientifique et technologique de l'IMT.* https://imtech.imt.fr/2021/12/14/lintelligence-artificielle-pour-anticiper-le-pire/

Prix en intelligence artificielle et informatique

Journée de la Recherche - IMT Mines Alès - 7 octobre 2021



https://youtu.be/yrAV1EZnyO0

L’intelligence artificielle pour anticiper le pire - I’MTech. L’actualité scientifique et technologique de l’IMT.



Représentation d'un environnement modélisé dans une simulation multi-agents.

Parce que les évènements catastrophiques sont rares par nature, il est difficile de s’y préparer. En offrant des moyens de modélisation et de simulation performants, l’intelligence artificielle est donc un bon outil pour imaginer, tester et optimiser la réponse à ces événements. À IMT Mines Alès, Satya Lancel et Cyril Orengo effectuent tous deux des recherches sur les évacuations d’urgence, dans des cas comme une rupture de barrage ou une attaque terroriste dans un supermarché.

« *Les supermarchés sont des environnements très complexes dans lesquels les individus sont sa*turés d’informations », annonce Satya Lancel, doctorante en sciences des risques à l’Université Montpellier III et à IMT Mines Alès. Débutée il y a plus deux ans, sa thèse porte sur l’affordance, un concept de psychologie qui postule qu’un objet ou un élément de l’environnement a la capacité de suggérer sa propre utilisation. Avec ce travail, elle souhaite étudier le lien entre les processus cognitifs impliqués dans la prise de décision et la fonctionnalité des objets dans leur environnement.

Dans sa thèse, Satya Lancel s’intéresse spécifiquement à l’affordance dans une situation d’attaque à main armée au sein d’un supermarché. Elle va par exemple étudier comment optimiser des indications pour inciter les clients à se diriger vers les sorties d’évacuation d’urgence. « *Les résultats découlant de mes travaux pourront servir de base pour des recherches futures et seront utilisables par les enseignes*

de supermarché pour améliorer la signalétique ou la formation des personnels afin d'améliorer les procédures d'évacuation », explique la doctorante.

Pour réaliser ses expériences, Satya Lancel et son équipe ont obtenu un financement de l'enseigne U. Cet accord leur a permis d'étudier, dans plusieurs magasins U, les facteurs situationnels et cognitifs impliqués dans la prise de décision des clients. « *Un des travaux de la première partie de mon plan de recherche consistait à observer le comportement des clients en présence ou en absence de feux clignotants au niveau des issues de secours,* déclare-t-elle. *Nous avons remarqué qu'en présence d'une signalétique active, les clients ont davantage tendance à choisir de se diriger vers les sorties de secours qu'en leur absence* », souligne la scientifique. Ce résultat suggère que la signalétique aurait une importance certaine pour guider la prise de décision des personnes, même si celles-ci ne connaissent pas à l'avance la procédure d'évacuation.

« *Étant donné qu'il est proscrit de réaliser des simulations d'attaques armées avec des personnes réelles, nous nous sommes orientés vers une simulation informatique multi-agents* », explique Satya Lancel. La particularité de ce type de simulation est que chaque agent qui la compose est conceptualisé comme une entité autonome avec des caractéristiques et un modèle comportemental propres. Dans ces simulations, les agents vont interagir et s'influencer entre eux via leur comportement. « *Ces modèles sont aujourd'hui de plus en plus utilisés dans les sciences des risques, en raison du fait qu'ils s'avèrent très utiles pour analyser les comportements de groupes* », déclare-t-elle.

Pour développer cette simulation, Satya Lancel a fait appel à Vincent Chapurlat, chercheur en modélisation informatique des systèmes à IMT Mines Alès. « *Le modèle que nous avons conçu est une représentation tridimensionnelle du supermarché sur lequel nous travaillons* », indique-t-elle. Dans cette simulation, les rayons sont représentés par des parallélépipèdes tandis que les clients et le personnel sont représentés par des agents définis par des points. En observant comment les agents se rassemblent et comment les amas qu'ils forment se déplacent, interagissent et s'auto-organisent, il est possible de déterminer les comportements de groupe que l'on retrouve le plus souvent en cas d'attaque à main armée quelles que soient les caractéristiques des individus.

Représenter la complexité du réel

A l'extérieur des supermarchés, Cyril Orengo, doctorant en gestion de crise au laboratoire des sciences des risques à IMT Mines Alès, étudie les évacuations de population en situation de rupture du barrage. Le cas d'application sélectionné par Cyril Orengo est le barrage de Saint-Cécile-d'Andorge, près de la ville d'Alès. À partir d'une modélisation informatique de l'aire urbaine alésienne et des individus, il compte comparer les temps d'évacuation pour différents scénarios et effectuer la cartographie des différents axes de la ville susceptibles d'être bloqués. « *L'un des buts de ce travail est de constituer un socle de connaissances mobilisables ultérieurement par des chercheurs travaillant sur les évacuations préventives* », indique le doctorant.

Si lui aussi a choisi d'utiliser un système multi-agents pour simuler des évacuations, c'est parce que cette méthode permet d'incorporer des paramètres individuels à des agents afin de produire des situations qui tendent à se rapprocher d'une réalité crédible. « *Parmi les variables sélectionnées dans mon modèle, figure une partie des caractéristiques socio-économiques de la population simulée,* précise-t-il. *Dans une situation réelle, une personne âgée pourrait avoir besoin de plus de temps pour se déplacer qu'une jeune personne : c'est ce que permet de reproduire le système multi-agents* », explique le doctorant.

Pour générer une simulation crédible, « *il faut d'abord comprendre le processus d'évacuation préventive*, pointe Cyril Orengo, précisant la nécessité *d'identifier les acteurs en jeu comme les citoyens et les collectivités, ainsi que les infrastructures impliquées telles que les bâtiments et les voies de circulation afin de produire un modèle qui servira de base au développement de la simulation informatique* ». Dans ce cadre, le doctorant a notamment étudié des ensembles de données INSEE pour tenter de reproduire les caractéristiques socio-économiques de la population alésienne. Pour réaliser sa simulation, Cyril Orengo utilise une plateforme spécialisée dans la construction de simulation à base d'agents. « *Cette plateforme permet à des chercheurs sans formation en programmation, de réaliser des modèles en contrôlant divers paramètres qu'ils définissent eux-mêmes* », indique le doctorant.

L'une des limites de ce type de simulation est la puissance de calcul qui ne permet pas de prendre en compte un nombre de variables trop grand. Selon Cyril Orengo, il reste de nombreuses améliorations à apporter à son modèle. Parmi elles figurent « *l'intégration des véhicules individuels, les transports en commun, les processus décisionnels à propos de la gestion de la crise ou une reproduction plus fine des comportements humains* », précise-t-il. Pour Satya Lancel, la réalité virtuelle serait un apport important qui pourrait augmenter l'immersion du participant à l'étude. « *En plaçant un participant au sein d'une foule virtuelle, le chercheur pourrait observer comment celui-ci réagit au contact des agents et de son environnement, ce qui lui permettrait d'affiner ses études* », conclut-elle.

Rémy Fauvel

https://imtech.imt.fr/2021/12/14/lintelligence-artificielle-pour-anticiper-le-pire/

Publications

Lancel, S., Chapurlat, V., Dray., Martin, S., (2022). Emergency evacuation in a supermarket during a terrorist attack: towards a possible modelling of the influence of affordances on the evacuation behavior of agents in a complex virtual environment. *Safety science and resilience.*

Martin S, Moinier K, Lancel S, et al. The Importance of Body and Action in the Design of Technological Devices: For an Embodied Shift as an Alternative Conceptual and Methodological Framework in Gerontechnology. Adv Complement Alt Med. 7(2). ACAM.000656.2022. DOI : 10.31031/ACAM.2022.07.000656

Crimson Publishers
Wings to the Research

Review Article

The Importance of Body and Action in the Design of Technological Devices: For an Embodied Shift as an Alternative Conceptual and Methodological Framework in Gerontechnology

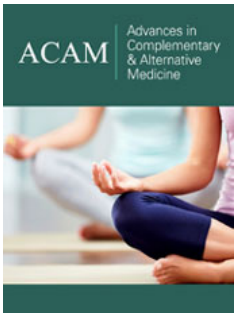
Martin S[1]*, Moinier K[1], Lancel S[1], Herrero K[1,2], Gely-Nargeot MC[1] and Dray G[3]

[1]EA 4556 EPSYLON, Univ Paul Valéry Montpellier 3, France

[2]Hôpital de jour, Clinique Psychiatrique Saint Clément de Rivière, F34980

[3]EuroMov Digital Health in Motion, Univ Montpellier, France

ISSN: 2637-7802



***Corresponding author:** Martin S, EA 4556 EPSYLON, Univ Paul Valéry Montpellier 3, EPSYLON EA 4556, F34000, Montpellier, France

Submission: June 07, 2022

Published: June 22, 2022

Volume 7 - Issue 2

How to cite this article: Martin S, Moinier K, Lancel S, et al. The Importance of Body and Action in the Design of Technological Devices: For an Embodied Shift as an Alternative Conceptual and Methodological Framework in Gerontechnology. Adv Complement Alt Med. 7(2). ACAM.000656.2022. DOI: 10.31031/ACAM.2022.07.000656

Copyright@ Martin S. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

To what extent is the design of technological devices for older adults symptomatic of our way of thinking about human cognitive aging? So far, technology-based solutions for the older adults are employed as reactive rather than preventive interventions and are often focused on impairments and age/dementia-related declines. In more specific terms, technologies are designed as cognitive crutches, rather than extended-mind devices. The aim of the present paper is twofold. First, pointing out researchers' responsibility in the spreading of conceptual frameworks that drive the development (and failure) of technological tools for older adults. Second, proposing an alternative perspective about cognitive aging across the embodied shift. The embodied cognition paradigm provides both on descriptive and explicative view about how individuals engage their environment. Indeed, the methodological benefits of such a perspective stem from a better understanding about how the cognition emerges from the interaction between the bodily abilities and available resources in the current environment. It is argued here that the embodied cognition paradigm is a relevant theoretical framework for the gerontechnological domain.

Keywords: Aging and alzheimer's disease; Cognitive aging; Embodied cognition; Gerontechnology; Researchers' responsibility

Introduction

Aging is a complex and progressive process that affects parts of cognitive functions, and in which everyone will experiment some physical, psychological and social evolution. Beyond an important heterogeneity of the age-related effects, the advancing in age can be marked by spatio-temporal disorientation associated to severe perceptual, sensorimotor and cognitive impairments, which seriously compromise the older adults' autonomy. Typically, these troubles are symptomatic of dementia. One of the most represented types of dementia worldwide is the Alzheimer Disease (AD). According to the World Health Organisation (WHO), it is estimated that amongst the 50 million patients suffering from dementia, two thirds of them have the AD [1]. These figures are ineluctably doomed to grow [2]. For instance, in 2020, one in four French people more than 65 years old will be affected by the AD [3]. In the absence of curative or preventive treatments, the progression of symptoms related to patients leads to an increase of the older adults' dependence to their environment. In this context, a growing body of research in gerontechnology literature pointed out that Technology could potentially play an important role in maintaining a certain level of autonomy in older adults, while offering a safe environment and opportunities for social connectedness [4-6]. In particular, technological devices aim to provide tools that improve the cognitive efficiency and thus the quality of life of older adults across monitoring and managing of symptoms of the AD in daily

activities [4,7,8]. Beyond these pious wishes and in spite of their potential benefits, it appears that technologies tend to be hardly or not at all, used [9-11].

The issue of the use and appropriation of technology during aging has received a considerable interest (for reviews, see e.g., [11-13]. A thorough focus has been made on the age-related changes, perceived cost to use, and cognitive factors as determinants patterns of technologies use and acceptance (for models of acceptance and use see e.g., [14-16]. Furthermore, the major identified barriers concerned the relationship to the perceived cost-effectiveness and age/dementia-related incidences on the sensorimotor and cognitive functions. Both factors were accounted as challenging the amplitude to which older adults' resources are allocated to learning new technology [17-22]. Beyond the important issue of technological use in older adults, such barriers raise a less explored critical question: To what extent is the design of technological devices, for older adults with AD, symptomatic of our way of thinking about human cognitive aging? Despite accumulating evidence about the effect of age on cognitive functions, a general understanding of how cognitive disturbances might arise in aging remains controversial. This controversy appears because scientific contributions to understanding aging has focused either on methodological issues, or on theoretical ones [19,23-27]. There is little consensus about questions that should be addressed in order to develop a psychological theory of aging. In this sense, the aim of the present paper is to question researchers' responsibility on the current technological trajectory and how it is shaped throughout the conceptualisation of aging and human cognition. Crucially, we point out researchers' responsibility in the spreading of theories and models that drive the development of technologies, and articulation of stakeholders in the designing.

Based on the embodied shift that is relatively recent in the cognitive and social sciences, we will highlight the conceptual and methodological consequences of the use of embodiment in gerontechnology (in the same vein, see [28]. For nearly twenty years, Varela and colleagues (1991) published a major work about the embodied and situated cognition. The innovative central proposals were that the cognition is embodied because it is deeply dependent of the body that supports it and situated insofar as it emerges from the body's interactions with the current environment. Moreover, the crucial contribution of this major work resides in the highlighting about the fundamental role of the action in the emergence of knowledge. Similarly, to the [29], which suggested that actions and sensorimotor abilities support the cognition, the embodied cognition argues that knowledge are the enacted experiential outcome of our actions in the world. In specific terms, it is our actions and action intentions that, in a given situation, make that a stimulus (or one of these physical components) will be meaning for us. Thus, the cognition is closely linked to our body, which acts and interacts with the objects composing the environment. It is in this sense that the cognition is expressed as embodied and situated [30,31]. Such a paradigmatic change has profoundly challenged our understanding of the human cognitive functioning and, by extension, our way to think cognitive aging. In respect to this perspective, we argue that it implies to review our expectations about the design and end-purpose of technologies for older adults with an AD diagnosis.

Technology as a Cognitive Crutch or Extended-Mind Device?

Consider the development of a technological device whose end-purpose is to allow aging adults with AD conserve a certain level of autonomy in taking their medical treatment, such as a smart pill dispenser. If the end-purpose has been unanimously voted in the pre-designing briefing with stakeholders, a heated debate would arise over how this technological device should promote the older adults' autonomy. The outcome of this debate would then rely on the question addressed by the researchers on aging. Especially, if it is constrained by the scientific paradigm in which are embedded theoretical, methodological, and societal way of understanding and apprehending the phenomenon of aging.

The questions about the "what" and the "where" of aging

How should a technological device promote the aging adult's autonomy? On the one hand, some stakeholders consider that technology must be automatized, focused on deficiences and pathologies. Ideally, it should be designed like a substitute to aging adults' memory. The advancing of dementia-related effects induces progressive and severe declines on perceptual and memory functions [28,32]. Although these declines progress concomitantly [33], it was classically assumed that perception and memory processes are independent, both functionally and structurally [34]. In this respect, it is reasonable to think that designing a technological device as a cognitive crutch of the memory function should allow replacing the impaired function, and thus, restoring the autonomy of aging adults with an AD diagnosis. Their argumentation is based on a traditional structuralist paradigm of the cognitive aging. In this context, scientists attempt to provide answers to the questions of *what* and *where* of the phenomenon of aging decline. Answering the question of *what* is relevant to define the phenomenon to be studied. However, to date, age differences concerned by research literature are usually narrow in scope, and only provide a descriptive taxonomy of age declines without any broad understanding of aging. Answering the question of the *where* intends to localize age-related impact to particular components of a proposed stage model (i.e. encoding, storage, retrieval, episodic or working memory), or particular brain areas that are activated during a particular task (or a small set of tasks). There again, defining different loci affected by age only provide a narrow theory of aging and not a compelling explanation. Most of this field of research relies on computational conceptions of the mind considering cognition as a set of serial components that can be studied in isolation. The questions of *what* and *where* are helpful with regards to the evaluation of cognitive declines by providing a description of the phenomenon of aging. Nonetheless, structuralism raises the idea that aging is inherently a sum of deficits, and thus focuses mainly on the differences in cognitive abilities between the youth and elders. Crucially,

Copyright © Martin S

structuralism has pointed out the "normative" declines in aging and has participated in the elaboration of palliative rather than preventive devices for the elderly.

The questions about the "why" and the "how" of aging

A second way to address theoretical issues of aging answers is to the questions of the *why* and *how* of the phenomenon of aging. As such, scientists attempt to give a plausible account for a shared age influence on a variety of tasks. They proceed by gathering and integrating prior findings about memory, comprehension or cognitive resources for instance, into a global framework [19,23,25-27]. In this view, research is concerned by the determinants and moderators of aging (and not only by a description of the various and isolated impacts of aging on the cognitive functioning). This second approach addresses the extent to which changes in cognitive processes would not reflect an age-related decline, but rather a necessary cognitive adjustment to new environmental constraints. Such an adaptive hypothesis lies on a dynamic approach of the cognition in which cognitive abilities, environmental features and the way participants cope with their environment are taken into account.

In that context, stakeholders would argue that delegating the medical treatment to an automatized technological device could increase the aging adults' dependence to their environment. Hence, they would propose that the smart pill dispenser should create situations in which the aging adults' actions will be afforded. These stakeholders claim that it exists a close functional link between perception and memory processes, which is the core idea of the embodied approach to cognitive aging [35]. Furthermore, such a close link is likely to explain why the reported perceptual impairments are typically associated with the cognitive ones, in particular those of the episodic memory [33]. The embodied approach does not deny the effects related to the progression of the AD on perceptual and cognitive systems, respectively. Nonetheless, it argues that the cognitive system conserves the traces of its sensorimotor experiments [36-38]. Conceptualizing cognitive functioning this way implies that new knowledge could continue to emerge across the dynamic interplay between aging adults and their environment. Accordingly, the stakeholders suggest that a technological tool should be conceived as an extended-mind device [39], affording action opportunities to aging adults and promoting their anticipatory ability through environmental cues. Such theoretical debate does not concern only the cognitive and social sciences, it may have important consequences in the emergent field of the gerontechnology [40]. Indeed, the development of technologies for aging adults requires the integration of technical and fundamental knowledge from the technological and psychological domains [9,20,41]. For instance, when it comes to gaining a better understanding of the aging adults' barriers to technology use and adoption, psychologists can propose theoretical approaches of cognitive aging that could help technologists in removing these barriers [42]. Theorists are crucial drivers of conceptual models and empirical research, and theories are reflected in the way technologies support aging adults. To date, technology-based solutions are employed as palliative rather than preventive and integrative interventions, and often focused on impairments and age/dementia-related declines rather than resources [43]. There is a danger that such technological devices increase the disempowerment and dependence of aging adults with an AD diagnosis, insofar as their designing is framed on the theoretical basis that the cognitive system is too severely impaired to be solicited.

We argue that the key issue is not so much about what the aging adults are no longer able to perform, but rather what kinds of interactions with their environment could allow the technological tools. Specifically, it would be interesting to focus about *why* and *how* such devices should afford aging adults' actions, while supporting a new form of cognition (such as distributed cognition), rather than focus about were replacing the cognition. It is quite possible to develop technological devices outside the idea that the structure constraints the cognitive functioning (i.e., the issues about what and were raised by the structuralism). For example, focusing on the *how* [12] report on a study of the use of neurofeedback for well-being in older adults. Participants performed ten minutes of mindfulness exercises each day for six weeks, using a headband to measure brain activity, EEG monitoring and an iPod. Results showed an improvement in attentional reaction time and a reduction in somatic symptoms for the neurofeedback group compared to the control group. This study shows the value of neurofeedback techniques to improve the quality of life of older adults by engaging their cognitive abilities. In this context, the embodied paradigm can provide an alternative conceptual and methodological framework in gerontechnology.

Cognitive Aging and the Embodied Shift

Individuals are embedded in a permanent dynamic interaction with a physical and social environment in perpetual evolution. To navigate in such environment, it is crucial to acquire and develop anticipation and adaptation abilities. Classically, this thesis has been introduced by the bio-cultural lifespan co-constructivism perspective [44], which assumes that aging is dynamic, non-linear, multifunctional, and multi-determined by cultural, ontogenetic and person-related factors [45]. In this view, successful aging relies on a dynamic developmental compromise that maximises resources gains (e.g., knowledge, expertise) and minimises resources losses (e.g., sensory and motor efficiency) throughout aging [46]. Such gain-loss compromise is the core of the Selective Optimization with Compensation model [47] Within the SOC model, it is postulated that aging adults can manage age-related losses by the means of three mechanisms of developmental regulation. First, investing their resources on a set of available behavioral alternatives (i.e., Selection mechanism). Then, optimizing the application and coordination of the invested resources in selected domains to achieve a better functional level (i.e., Optimisation mechanism). Finally, in order to compensate the incidences of the resources losses while maintaining an efficient functioning i.e., Compensation mechanism; for an exhaustive view, see [13].

Copyright © Martin S

The emergence of knowledge or resolution of a problem with the advancing in age remains possible only if aging adults conserve the ability to optimize their cognitive functioning to compensate for the losses [16]. Yet, it appears that, with the advancing in age, the losses tend to become more important than gains due to age-related changes on perceptual, sensory, sensorimotor, and cognitive systems increase the cognitive resources demand [48]. Following this, the resources allocated to SOC mechanisms and functional brain efficiency are doomed to decrease [13]. It is precisely at this level that technologies act as a help to enhance the allocation of currently available resources by reducing the resource-demand on the cognitive system [45]. Although the principles conveyed by the SOC model can be applied to other developmental step than aging, this model remains a descriptive view of individuals adaptive mechanisms. Few explanations about the underlying processes were provided. Furthermore, some of the contributions appear to be contradictory. Indeed, it is argued through this latter model that the sensory, sensorimotor and cognitive functions maintain a close connection [49-52] whereas they continue to be considered as qualitatively distinct both functionally and structurally [53]. The bio-cultural lifespan co-constructivism perspective has mainly focused on the reciprocal influence between cerebral structures and cognitive functioning, suggesting therefore the idea that the cognition is constraints by the structural architecture of the brain.

In this respect, embodied approaches investigate the underlying processes rather than structures, and can provide an appropriate contribution in understanding cognitive aging outside of the representationalist and neurocentrist viewpoints. It is crucial to point out here that the embodied paradigm is not advanced to be "better" than the viewpoint supported by the bio-cultural lifespan co-constructivism perspective. Rather, an embodied perspective proposes another view angle by focusing on the core notion of embodiment, and not only on a developmental analysis of the interactive dynamic between the brain, culture, and environment. Furthermore, for two decades, a common definition of the embodiment has emerged in the embodied approaches [30,36,54-58]. Embodiment refers to the radical assumption that the brain is not the seat of the cognitive functioning, but rather a constitutive part of an enactive system [59]. In other words, the cognition is embodied, situated and distributed within a mind-body-environment complex system.

Cognition is embodied

To claim that the cognition is embodied implies to consider that this latter is no longer an instance residing in the brain, situated somewhere between the perception (i.e., input from the environment) and action (i.e., output from the cognitive system). In absolute terms, cognition is the emergent phenomenon of dynamic and adaptive sensorimotor interactions with the world [56]. As a consequence, its functioning is constrained by relatively fluctuating factors such as the ecology, material but also the body morphology, which determine the nature of interactions that individuals are able to engage in the world [36,60]. An embodied view of cognition argues that the action, body and its phenomenology hold a core place into the cognitive functioning [61,62]. Such postulate allows integrating a multitude of bodily factors into cognitive processes, and especially, to conceive those experiences and knowledge of the individuals about the world emerge from sensorimotor coupling of their organism with the world [57]. Hence, this latter theoretical approach rejects the idea that knowledge, and by extension the cognition, are the outcomes of a computational processing across an abstract set of internal representations. Rather, it is advanced that the cognitive system is able to conserve the traces of its sensorimotor interactions with the world. This set of sensorimotor-based traces is then re-enacted (or simulated, in terms of Barsalou) in order to apprehend the present situation in an adaptive way [36]. In other words, the individuals' feelings, emotional states, memories, and what they currently perceiving emerge from sensorimotor re-enactments of past experiences in the present situation. Such ability of the cognitive system highlights a crucial point assumed by the embodied approaches; perception, action, and memory maintain a close functional connection [63] [38,64-67].

Along these lines, we argue that the development and maintaining of cognitive abilities stem from sensorimotor abilities [28] for an early developmental theory that supports this idea [29]. Given the sensory and motor anchoring of the knowledge, alterations of these latter properties, caused for instance by a less good perceptual (e.g., visual and auditory) or motor acuity, should have a direct impact on cognitive performances. Aging and AD present such sensorial alterations concomitant with cognitive functioning changes [33] Vallet et al. 2010, [68]. However, contrary to healthy aging adults, the advancing of impairments related to the AD implies that the disability to discriminate the knowledge, as being previous, tends to be more and more important [32]. Indeed, they present a certain difficulty to simulate an episodic memory, which require the re-enactment of several sensorial modalities with a precise spatial context, and by extension temporal ones [69]. Such impairments highlight the core role of the body in cognitive functioning and maintaining of the adaptive ability. At the same time, recent study showed that compatibility effects, and in particular the action compatibility effect (a phenomenon generated when a sentence describing a movement direction matches with the direction of the movement required to answer the sentence, see Glenberg & Kaschak (2002), may promote faster decision-making and memory performances of the elderly with an AD [70]. This compatibility effect is particularly interesting for devices such as command robots that assist people with reduced mobility. One of the use of these robots is to act as a stretched arm that can hand a glass of water, for example. If the robot hands the glass an elderly person, the reaction of the latter will not be the same depending on whether the robot is stretching his left arm or his right arm. In this context, it is mandatory to investigate the dynamics between the body and technological interfaces during aging. Consider that the body is an intrinsic constituent of the cognitive functioning implies to develop devices respecting the users' sensorimotor preferences. However, these preferences change across lifespan, and cannot be induced from nonspecific population [71].

Copyright © Martin S

Cognition is situated

Cognition is "deeply rooted in the body's interactions with the world" [58]; it cannot be apprehended outside from a complex system involving the mind, the body, and the environment in which individuals interact. The sense in which cognition is called situated refers to the idea that actions in the world are constitutive of the perception, and by extension, ground the cognition [62,72,73]. The daily goal-directed individuals' activities are intrinsically situated in the world, co-determined both by the physical and social structures of the current environment, and the bodily limits of the individuals. [74] proposed a concept that captures the dynamic interactive nature of the relationship between the changes within environment, and the emergence and performance of actions, which concept is typically called affordances. An affordance corresponds to action possibilities offered to individuals by the environment with reference to the individuals' action abilities [75]. For instance, a chair may to afford sitting as well as climbing on it, like a stepladder in order to change a bulb. The tool in itself does not hold the function. Rather, the function of a tool affords from the emerging outcome between the individuals' needs/expectations and the action possibilities offered by the environment.

The concept of affordances allows to illustrate that the current perceptive and motor experience relies on sensorimotor contingencies that initiate adapted actions in the world [62,72]. The emergent action guided by affordance is co-determined both by the bodily and environmental constraints, which lead to a more or less important perceived energetic costs [76]. Hence, insofar as the individuals' perception is depending on the biomechanical constraints of their legs functioning [77]. It is likely that the affordance associated to the chair in our precedent example will not be the same for a younger adult than an aging adult. Indeed, aging is marked by a natural muscular atrophy that leads to a reducing of muscular tonus, a global behavioral stiffness and loss in flexibility, as well as an enhancing of difficulties to keep balance [78]. Again, we point out the core importance of the bodily phenomenology across its interactions with objects of the world. Illustrated here by the concept of affordances, there is reason to think that the situated aspect of the cognition implies a certain dependency of the cognitive functioning on the opportunities offered by the environment. It is true that the environment is an integral part of the cognitive system, and strongly affects the emergence of an adequate motor response face to permanent changes in the current situation. However, despite situational constraints that the environment may generate, it may also operates as an abundant source of cognitive resources. Affordances do not limit the nature of the actions that may be performed in such a environment. On the contrary, affordances extend/distribute the individuals' action possibilities. In the present paper, if affordances were described as relative to objects, in such a phenomenon it is not tool-dedicated but may entirely emerge from interactions with other individuals [79,80]. For example, our working team is developing a connected bandage that informs the caregiver about the condition of the wound without having to remove it. Currently, the function of this bandage has been diverted into an indicator of the level of staining of diapers that are used for elderly persons. Similarly, one of our elderly patients used a compact disc tray as a cup holder and that did not seem to bother her. In regard to these examples, we observe that the function of an object emerges from its functioning which is itself a product of a situational affordance. Concretely, whether with a tool or other individuals, the cognitive system builds (and rebuilds) the memories of its interactions based on the sensorimotor contingencies of a body embedded in the environment. Considering cognition as situated is in agreement with the IOS 9241-11 definition of usability of a device as: "the effectiveness, efficiency, and satisfaction with which specified users achieve specified goals in particular environments" (International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland). According to this definition, the usability of a product is not a property of the product as such, but only in relation to a specific context of use. Like cognition, product usability is therefore also situated.

Cognition is Distributed

Cognition is not implemented in the brain, but rather "as spreading out of the head and into the changing techno-social world" [81] Such property of the cognitive system typically qualified as distributed [82], extended [83] or projected [31]. The taxonomy is different, but the core idea is the same; that is cognitive resources distributed over the mind, body, and environment are substantial participants in the cognition functioning. Cognitive processes often draw on outsourced resources of the environment, which includes other individuals as well as technological tools. Cognitive system is able to integrate certain constancy or regularity present in the environmental structures, and to exploit them across a continued coupling between perception and action in order to perform adapted and appropriated behaviours. Such embodied ability of the cognitive system can be employed in complementarity with technological tools as well as other individuals [84]. Accordingly, the cognitive activity is distributed across a set of available bodily responses, dynamically re-enacted and afforded by complex interactions between technological, social, and physical factors [81]. For these reasons, one of the crucial issues investigated by the embodied cognition account is the close relationship between the current efficiency of the individuals' cognitive abilities, the kinaesthetic aspect of their behaviours and their episodic memory performance [63].

In this view, individuals' behaviours emerge from interactions with external supports that serve as cognitive resources, and these activities are situated, guided, constrained, and to some extent, determined by some bodily and situational factors. Despite our beliefs that we control most of our behaviors, a distributed conception of cognition proposes that most of our cognitive resources are in the environment. We act unconsciously more often than we think. This is especially true for the prospective memory, which is defined as the ability to remember intended actions in the future. For example, when the sun is setting down, working colleagues are leaving and the strain of the day is being felt, these are indicators that it is almost 5pm and time to pick up the kids

Copyright © Martin S

from schools. In this case, prospective memory is a process (and not a function) that takes place in the person and his/her situation even though we have the illusion of thinking about it voluntarily. If so, the concept of affordances that was discussed in the precedent section may be considered as an illustration of a distributed functioning across the individuals' bodily and cognitive resources, and those provided by the current environment. The key question is to apprehend and anticipate how the different components of such distributed system (i.e., individual mind and body, other individuals, technologies, tools) coordinate between them, and enabling the cognitive system to make the emergence of an adaptive behaviour [84]. In this respect, to consider that the cognition functioning is distributed across the mind-body-environment system also implies investigating the interactive nature of their relationship, rather than the components separately. Therefore, technology must not offer representational content but rather be a support to daily routines. A possible area to develop could be externalising individuals' resources rather than their cognition. In that case, new technology must be able to integrate daily lives of people and be adjusted to these changes. For example, our laboratory incubates the Resilient Innovative Society that develops an auditory stimulation device synchronising the steps of elderly people with motor troubles. The rhythm of the emitted sound is a distributed recursive signal informing the individual about the quality of his/her path and promoting a better self-adjustment and coordination of steps.

Conclusion

Aging is a progressive process that presents a mosaic of phenomena, and an important heterogeneity of the age-related effects. Specifically, it may be marked by symptoms related to dementia such AD, which is illustrated by severe perceptual, sensorimotor and cognitive impairments responsible for a decreased of aging adults' autonomy in their daily activities. Some technological tools have been produced and marketed with the objective to preserve a certain level of autonomy and promoting the cognitive functioning of the aging adults. However, it appears that such technological devices are few, or not used. Vaportiz, Clausen & Gow [42] highlighted various barriers to the use and appropriation of such technologies, including the inadequacy of the comparison with younger generations. In that context, the aim of the present paper was twofold. First, pointing out the researchers' responsibility in the spreading of conceptual frameworks that drive the development (and failure) of technological devices. In particular, the scientific paradigms supported by the researchers have a major impact on technologies insofar as they guide their conception and determine how technologies should operate. Second, we proposed an alternative framework about the cognitive aging across the embodied shift. Any paradigm is always internally valid and intrinsically valuable. They define a version of the reality and a way to see the nature. Paradigms represent highly selective gestalten embodying more or less powerful heuristics. In this context, we suggested that important factors about the nature of the cognition have not been incorporated in technological innovations [85-89]. Along these lines, we argued that the embodied paradigm could be a relevant theoretical framework for the gerontechnological domain. Indeed, the methodological benefits of such a perspective stem from a better understanding about how the cognition emerges from the interaction between the bodily abilities and available resources in the current environment. Although it is not easy to predict whether and how aging adults will use and appropriate the technological tools [6]. However, embodied approaches provide both on explicative and descriptive view about how individuals engage their environment, despite the advancing in age.

Due to age/dementia-related impairments on sensorimotor and perceptual abilities [68], it has often been described that the maintaining of an efficient cognitive functioning is compromised. Yet, such impairments do not illustrate a programmed cognitive death. Rather, they come to highlight a poorly adapted response of the cognitive system faced by environmental demands in perpetual changing, pointing out the modification of the interaction of aging adults with their environment. It has already been raised in the gerontechnology literature that technology must improve the link between environment and aging adults [4,5,11,13,41]. However, question is not only to improve the social connectedness and autonomy through technological devices. Rather, the end-purpose should be to improve the adaptive strategy consisting the use of outsourced resources provided by a given tool, in order to continue to mobilize aging adults' anticipation ability. Such an ability is a crucial proactive response of the cognitive system informing on its capacity to take behavioral opportunities in the environment. In this respect, it is necessary to keep in mind that individuals are embedded in an environment that is perpetually evolving, and these changes are faced to the embodied impairments of the aging adults. A technological tool must be able to promote aging adults' autonomy by providing a continuous adjustment between the perceived environmental demands, and the preserved abilities of the aging adults. Only then can design technologies serve as an extended-mind device, affording aging adults' actions and promoting the re-enactment of knowledge, rather than serve as a cognitive crutch substituting their cognitive abilities without improving their autonomy.

In this respect, if technological devices were designed in view to promote the involvement and maintain of the aging adults' interactions with their current environment, they will achieve a competitive advantage by optimizing the availability of cognitive resources. An embodied shift as an alternative conceptual and methodological framework in gerontechnology will help to understand older people's perceptions and use of technologies. To go further than [42] it is not about finding a way to introduce new technologies to the ageing population, but about integrating the ageing world as part of new technologies.

References

1. (2018) World Health Organisation.
2. Prince M, Wimo A, Guerchet M, Ali GC, Wu YT, et al. (2015) The global impact of dementia. World Alzheimer Report, pp. 1-82.
3. Alzheimer F (2018).

Copyright © Martin S

4. Astell AJ, Malone B, Williams G, Hwang F, Ellis M (2014) Leveraging everyday technology for people living with dementia: A case study. Journal of Assistive Technologies 8(4): 164-176.
5. Czaja SJ, Boot WR, Charness N, Rogers WA, Sharit J (2018) Improving social support for older adults through technology: findings from the prism randomized controlled trial. Gerontologist 58(3): 467-477.
6. Peek ST, Luijkx KG, Rijnaard MD, Nieboer ME, van DVCS, et al. (2016) Older adults' reasons for using technology while aging in place. Gerontology 62(2): 226-237.
7. Astell AJ, Ellis MP, Bernardi L, Alm N, Dye R, et al. (2010) Using a touch screen computer to support relationships between people with dementia and caregivers. Interacting with Computers 22(4): 267-275.
8. Sixsmith AJ, Orpwood R, Torrington JM (2010) Developing a music player for people with dementia. Gerontechnology 9(3): 421-427.
9. Czaja SJ (2016) Long-term care services and support systems for older adults: The role of technology. American Psychologist 71(4): 294-301.
10. Fozard JL, Wahl HW (2012) Age and cohort effects in gerontechnology : A reconsideration. Gerontechnology 11(1): 10-21.
11. Peek ST, Wouters EJ, van HJ, Luijkx KG, Boeije HR, et al. (2014) Factors influencing acceptance of technology for aging in place: A systematic review. Int J Med Inform 83(4): 235-248.
12. Ollevier A, Aguiar G, Palomino M (2020) How can technology support ageing in place in healthy older adults? A systematic review. Public Health Rev 41: 26.
13. Lindenberger U, Lövdén M, Schellenbach M, Li SC, Krüger A (2008) Psychological principles of successful aging technologies: A mini review. Gerontology 54(1): 59-68.
14. Davis FD, Bagozzi RP, Warshaw PR (1989) User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. Management Science 35(8): 982-1003.
15. Rogers WA, Fisk AD (2010) Toward a psychological science of advanced technology design for older adults. Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences 65(6): 645-653.
16. Li SC (2003) Biocultural orchestration of developmental plasticity across levels: The interplay of biology and culture in shaping the mind and behavior across the life span. Psychological Bulletin 129(2): 171-194.
17. Charness N, Boot WR (2009) Aging and information technology use: Potential and barriers. Current Directions in Psychological Science 18(5): 253-258.
18. Czaja SJ, Charness N, Fisk AD, Hertzog C, Nair SN, et al. (2006) Factors predicting the use of technology: findings from the center for research and education on aging and technology enhancement (CREATE). Psychology and Aging 21(2): 333-352.
19. Martin S, Brouillet D, Dray G (2017) Living-Lab in health and autonomy: from procedure to process, from innovation to enovation. Annals of Mines - Industrial Realities 2: 37-41.
20. Jiancaro T, Jaglal SB, Mihailidis A (2017) Technology, design and dementia : an exploratory survey of developers. Disability and Rehabilitation Assistive Technology 12(6): 573-584.
21. Kamin ST, Lang FR, Beyer A (2017) Subjective technology adaptivity predicts technology use in old age. Gerontology 63(4): 385-392.
22. Mao HF, Chang LH, Yao G, Chen WY, Huang WNW (2015) Indicators of perceived useful dementia care assistive technology: caregivers' perspectives. Geriatr Gerontol Int 15(8): 1049-1057.
23. Brouillet D, Martin S (2005) La psychologie cognitive à l'écoute du vieillissement. In: Talpin JM (Ed.), Cinq paradigmes du vieillissement, Dunod, Paris.
24. Klatzky RL (1988) Theories of information processing and theories of aging. In: Light LL, Burke DM (Eds.), Language, memory and aging. Cambridge University Press, UK.
25. Salthouse TA (2004) What and when of cognitive aging. Current Directions in Psychological Science 13(4): 140-144.
26. Salthouse TA (2005) From description to explanation in cognitive aging. In: Sternberg RJ, Davidson, Pretz J (Eds.), Cognition and Intelligence. Oxford University Press, UK.
27. Salthouse TA (2006) Theoretical issues in the psychology of aging. In: Birren JE, Schaie KW (Eds.), Handbook of the Psychology of Aging Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 3-13.
28. Vallet GT (2015) Embodied cognition of aging. Frontiers in Psychology 6: 463.
29. Piaget J (1936) The birth of intelligence in children. Delachaux et Neistlé, Paris.
30. Glenberg AM, Witt JK, Metcalfe J (2013) From the revolution to embodiment: 25 years of cognitive psychology. Perspectives on Psychological Science 8(5): 573-585.
31. Versace R, Brouillet D, Vallet G (2018) Embodied cognition: A situated and projected cognition. Mardaga, Belgium.
32. Vallet GT, Rouleau I, Benoit S, Langlois R, Barbeau EJ, et al. (2016) Alzheimer's disease and memory strength : Gradual decline of memory traces as a function of their strength. J Clin Exp Neuropsychol 38(6): 648-660.
33. Valentijn SA, Van BMP, Van HSA, Bosma H, Beckers HJ, et al. (2005) Change in sensory functioning predicts change in cognitive functioning: Results from a 6-year follow-up in the Maastricht Aging Study. Journal of the American Geriatrics Society 53(3): 374-380.
34. Fodor JA (1986) The modularity of the mind, Editions de Minuit, Paris.
35. Vallet GT, Hudon C, Simard M, Versace R (2013) The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease: The cross-modal priming example. Cortex 49(9): 2402-2415.
36. Barsalou LW (2008) Grounded cognition. Annual Rev Psychology 59: 617-645.
37. Briglia J, Servajean P, Michalland AH, Brunel L, Brouillet D (2018) Modeling an enactivist multiple-trace memory. ATHENA: A fractal model of human memory. Journal of Mathematical Psychology 82: 97-110.
38. Rey AE, Riou B, Cherdieu M, Versace R (2014) When memory components act as perceptual components: Facilitatory and interference effects in a visual categorisation task. Journal of Cognitive Psychology 26(2): 221-231.
39. Clark A, Chalmers D (1998) The extended mind. Analysis 58(1): 7-19.
40. Tuena C, Serino S, Dutriaux L, Riva G, Piolino P (2019) Virtual enactment effet on memory in young and aged populations: A systematic review. Journal of Clinical Medicine 8(5): 620.
41. Nehme J, Lindenberger U, Steinhagen TE (2010) Aging and Technology–Friends, not Foes. 23(2).
42. Vaportzis E, Giatsi Clausen M, Gow AJ (2017) Older adults perceptions of technology and barriers to interacting with tablet computers: A focus group study. Front Psychol 8: 1687.
43. Sixsmith A (2013) Technology and the Challenge of Aging. In: Sixsmith A, Gutman G (Eds.), Technologies for active aging. International Perspectives on Aging, Springer, Boston, USA.
44. Baltes PB, Lindenberger U, Staudinger UM (2006) Life span theory in developmental psychology. In: Lerner RM, Damon W (Eds.), Handbook of child psychology: Theoretical models of human development. Hoboken, John Wiley & Sons Inc, US, pp. 569-664.

Copyright © Martin S

45. Lindenberger U, Lövdén M (2006) Co-constructing human engineering technologies in old age: lifespan psychology as a conceptual foundation. In: Lifespan development and the brain: The perspective of biocultural co-constructivism. Cambridge University Press, UK, pp. 350-375.

46. Marsiske M, Lang FB, Baltes PB, Baltes MM (1995) Selective optimization with compensation: Life-span perspectives on successful human development. In: Dixon RA, Bäckman L (Eds.), Compensating for psychological deficits and declines: Managing losses and promoting gains Hillsdale. Lawrence Erlbaum Associates, Inc, US, pp. 35-79.

47. Baltes PB, Baltes MM (1990) Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. Successful Aging Perspectives from the Behavioral Sciences 1(1): 1-34.

48. Baltes PB, Singer T (2001) Plasticity and the aging mind: An exemplar of the bio-cultural orchestration of brain and behaviour. European Review 9(1): 59-76.

49. Baltes PB, Lindenberger U (1997) Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? Psychology and Aging 12(1): 12-21.

50. Li KZ, Lindenberger U (2002) Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. Neuroscience & Biobehavioral Reviews 26(7): 777-783.

51. Lindenberger U, Baltes PB (1994) Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. Psychol Aging 9(3): 339-355.

52. Schäfer S, Huxhold O, Lindenberger U (2006) Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor–cognitive interdependencies in old age. European Review of Aging and Physical Activity 3(2): 45.

53. Li SC, Huxhold O, Schmiedek F (2004) Aging and attenuated processing robustness. Evidence from cognitive and sensorimotor functioning. Gerontology 50(1): 28-34.

54. Clark A (2008) Supersizing the mind: Action embodiment, and cognitive extension. Oxford University Press, UK.

55. Paolo DE, Jaegher DH (2012) The interactive brain hypothesis. Frontiers in Human Neuroscience 6:163.

56. Semin GR, Smith ER (2013) Socially situated cognition in perspective. Social Cognition 31(2): 125-146.

57. Shapiro L (2011) New problems of philosophy, Embodied cognition, New York, USA.

58. Wilson M (2002) Six views of embodied cognition. Psychonomic Bulletin & Review 9(4): 625-636.

59. Gallagher S, Hutto DD, Slaby J, Cole J (2013) The brain as part of an enactive system. Behavioral and Brain Sciences 36(4): 421-422.

60. Proffitt D, Linkenauger S (2013) Perception viewed as a phenotypic expression. In: Prinz W, Beisert M, Herwig A (Eds.), Action science: foundations of an emerging discipline. MIT Press, US.

61. Gallagher S (2006) How the body shapes the mind. Clarendon Press, UK.

62. Noë A (2004) Action in perception, MIT press, USA.

63. Brouillet D, Vagnot C, Milhau A, Brunel L, Briglia J, et al. (2015) Sensory–motor properties of past actions bias memory in a recognition task. Psychological Research 79(4): 678-686.

64. Brunel L, Labeye E, Lesourd M, Versace R (2009) The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. Journal of Experimental Psychology 35(4): 1081-1088.

65. Brunel L, Lesourd M, Labeye E, Versace R (2010) The sensory nature of knowledge: Sensory priming effects in semantic categorization. The Quarterly Journal of Experimental Psychology 63(5): 955-964.

66. Camus T, Brouillet D, Brunel L (2016) Assessing the functional role of motor response during the integration process. Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance 42(11): 1693-1702.

67. Moinier K (2018) When physical and social distances produce an analogical perceptual bias in the ebbinghaus illusion. European Journal of Interdisciplinary Studies 4(2a): 52-58.

68. Roberts KL, Allen HA (2016) Perception and cognition in the ageing brain: A brief review of the short-and long-term links between perceptual and cognitive decline. Frontiers in Aging Neuroscience 8: 39.

69. Vallet GT, Hudon C, Bier N, Macoir J, Versace R, et al. (2017) A semantic and episodic memory test (SEMEP) developed within the embodied cognition framework : application to normal aging, alzheimer's disease and semantic dementia. Front Psychol 13(8): 1493.

70. Scalzi DM, Rusted J, Oakhill J (2015) Embodiment effects and language comprehension in Alzheimer's disease. Cognitive Sciences 39(5): 890-917.

71. Loeffler J, Raab M, Cañal BR (2016) A lifespan perspective on embodied cognition. Frontiers in Psychology 7: 845.

72. Regan O'JK, Noë A (2001) A sensorimotor account of vision and visual consciousness. Behav Brain Sci 24(5): 939-973.

73. Buhrmann T, Paolo DEA, Barandiaran X (2013) A dynamic systems account of sensorimotor contingencies. Front Psychol 4 : 285.

74. Gibson EJ (1979) The ecological approach to visual perception. Boston, USA.

75. Osiurak F, Rossetti Y, Badets A (2017) What is an affordance? 40 years later. Neurosci Biobehav Rev 77: 403-417.

76. Witt JK, Linkenauger SA, Wickens C (2016) Action-specific effects in perception and their potential applications. Journal of Applied Research in Memory and Cognition 5(1): 69-76.

77. Warren WH (2006) The dynamics of perception and action. Psychol Rev 113(2): 358-389.

78. Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, Kritchevsky SB, Nevitt M, et al. (2006) The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. J Gerontol a Biol Sci Med Sci 61(10): 1059-1064.

79. Casasanto D, Chrysikou EG (2011) When left is "right" motor fluency shapes abstract concepts. Psychol Sci 22(4): 419-422.

80. Richardson MJ, Marsh KL, Baron RM (2007) Judging and actualizing intrapersonal and interpersonal affordances. J Exp Psychol Hum Percept Perform 33(4): 845-859.

81. Sutton J (2006) Distributed cognition: Domains and dimensions. Pragmatics & Cognition 14(2): 235-247.

82. Menary R (Ed.), (2010) The extended mind. MIT Press, USA.

83. Rogers Y (2004) New theoretical approaches for human-computer interaction. Annual Review of Information Science and Technology 38(1): 87-143.

84. Kirsh D (2006) Distributed cognition: A methodological note. Pragmatics & Cognition 14(2): 249-262.

85. Costantini M, Committeri G, Sinigaglia C (2011) Ready both to your and to my hands: mapping the action space of others. Plos 0ne 6(4): 17923.

86. Haesner M, Wolf S, Steinert A, Steinhagen TE (2018) Touch interaction with google glass–is it suitable for older adults? International Journal of Human-Computer Studies 110: 12-20.

87. Li SC (2006) Biocultural co-construction of lifespan development. In: Baltes P, Reuter LP, Rösler F (Eds.), Lifespan Development and the Brain:

Copyright © Martin S

The Perspective of Biocultural Co-Constructivism Cambridge University Press, UK, pp. 40-58.

88. Venkatesh V, Davis FD (2000) A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management Science, 46(2): 186-204.

89. Versace R, Vallet GT, Riou B, Lesourd M, Labeye E, et al. (2014) Act-in: An integrated view of memory mechanisms. Journal of Cognitive Psychology 26(3): 280-306.

Copyright © Martin S